

Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

ESCUELA TECNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMOS

NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKO

EVALUACIÓN DE APLICACIONES PARA EL TRATAMIENTO DE IMÁGENES MEDIANTE CORRELACIÓN AUTOMÁTICA

presentado por

JAVIER AZCOITI TANCO

aurkeztua

MÁSTER EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y TELEDETECCIÓN
MASTERRA INFORMAZIO SISTEMA GEOGRAFIKOETAN ETA TELEDETEKZIOAN

Septiembre, 2016 / *2016ko, Irailak*

❖ RESUMEN

La utilización de herramientas informáticas para el tratamiento de conjuntos de imágenes mediante correlación automática para la obtención de productos como pueden ser nubes de puntos, modelos digitales de elevación u ortofotos es una tendencia de actualidad. A lo largo de este proyecto se han analizado 3 herramientas punteras en este campo de estudio; Pix4D, PhotoScan, Correlator3D.

Mediante el estudio y comparación de un conjunto preseleccionado de pruebas realizadas por cada una de las herramientas objeto de estudio, se ha pretendido ampliar el conocimiento en esta área. Para ello se han estudiado conjuntos de imágenes que presentan diferentes características y problemas asociados, obtenidas mediante un amplio conjunto de fuentes; aviones, UAVs e imágenes terrestres.

Se han analizado una serie de medidas de los productos obtenidos por dichas herramientas para analizar la calidad de éstas. Finalmente se ha propuesto un mecanismo de elección del software más apropiado para cada tipo de trabajo en base a los análisis y conclusiones obtenidas en el estudio.

Se ha observado que tanto Pix4D como PhotoScan han sido herramientas más precisas en la generación de productos cartográficos mediante procesos automáticos, dentro de estas PhotoScan ha ofrecido un mayor soporte al tratamiento de diferentes fuentes de datos de entrada.

❖ PALABRAS CLAVE

Fotogrametría, Pix4D, PhotoScan, Correlator3D, UAV, Dron

❖ ABSTRACT

The use of computer tools for treating sets of images using automatic correlation to obtain products such as point clouds, digital elevation models or orthophoto is a trend today. Throughout this project we have analyzed three leading tools in this field of study; Pix4D, PhotoScan, Correlator3D.

By studying and comparing a preselected set of tests for each of the tools under study, we have tried to expand knowledge in this area. For this goal, has been studied sets of images with different characteristics and associated problems, obtained by a wide range of sources; aircraft, UAVs and ground images.

We analyzed a number of measures of the products obtained by these tools to analyze their quality. Finally, we have proposed a mechanism for choosing the most appropriate software for each type of work based on the analysis and conclusions obtained in the study.

It has been observed that both Pix4D as PhotoScan have more precise results in the generation of mapping products through automated processes. PhotoScan has offered further support to the treatment of different sources of input data, but the quality of the results has been better in Pix4D.

❖ KEYWORDS

Photogrammetry, Pix4D, PhotoScan, Correlator3D, UAV

❖ INDICE

1	INTRODUCCION	9
1.1	ANTECEDENTES	9
1.2	OBJETIVO	11
2	MATERIALES Y HERRAMIENTAS	12
2.1	MATERIALES	12
2.2	HERRAMIENTAS.....	13
3	MÉTODOLOGÍA.....	16
3.1	BÚSQUEDA, SELECCIÓN Y EDICIÓN DE DATOS A UTILIZAR	16
3.2	PLANIFICACIÓN.....	17
3.3	REALIZACIÓN DE PRUEBAS	18
3.4	COMPARACION DE PRODUCTOS.....	19
3.4.1	MEDIDAS DE NUBES DE PUNTOS	19
3.4.2	MEDIDAS DE MDE	21
3.4.3	MEDIDAS DE ORTOFOTOS	21
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
4.1	RESULTADOS OBJETIVO 1.....	24
4.1.1	NUBE DE PUNTOS.....	24
4.1.2	MDE.....	26
4.1.3	ORTOFOTOS.....	27
4.2	RESULTADOS OBJETIVO 2.....	30
4.2.1	NUBE DE PUNTOS.....	30
4.2.2	MDE.....	32
4.2.3	ORTOFOTOS.....	33
4.3	RESULTADOS OBJETIVO 3.....	37
4.3.1	NUBE DE PUNTOS.....	37
4.3.2	MDE.....	39
4.3.3	ORTOFOTOS.....	39
4.4	RESULTADOS OBJETIVO 4.....	42
4.4.1	NUBE DE PUNTOS.....	42
4.4.2	MDE.....	45
4.4.3	ORTOFOTOS.....	46
4.5	RESULTADOS OBJETIVO 5.....	49

4.5.1	NUBE DE PUNTOS.....	49
4.5.2	MDE	51
4.5.3	ORTOFOTOS.....	51
4.6	RESULTADOS OBJETIVO 6.....	54
4.6.1	NUBE DE PUNTOS.....	54
4.6.2	MDE	55
4.7	RESULTADOS OBJETIVO 7.....	58
4.7.1	NUBE DE PUNTOS.....	58
4.7.2	MDE	60
4.7.3	ORTOFOTOS.....	61
4.8	RESULTADOS OBJETIVO 8.....	62
4.9	RESULTADOS OBJETIVO 9.....	65
4.10	RESULTADOS OBJETIVO 10.....	67
4.10.1	NUBE DE PUNTOS.....	67
4.10.2	MDE	68
4.10.3	ORTOFOTOS.....	68
4.11	RESULTADOS OBJETIVO 11.....	69
4.12	RESULTADOS OBJETIVO 12.....	70
5	CONCLUSIONES	71
5.1	ASIGNACIÓN DE IMPORTANCIA POR PRODUCTO Y OBJETIVO	71
5.2	ANÁLISIS POR OBJETIVO ESPECÍFICO	72
5.3	ANÁLISIS GENERAL	74
6	BIBLIOGRAFÍA	76
7	REFERENCIAS.....	76
8	ANEXOS	77

❖ INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Logo Herramientas objeto de estudio	13
Figura 2: Productos obtenidos en el Proyecto; Nube de Puntos, Ortofoto y MDE	18
Figura 3: Octree sobre nube de puntos de Javier. Izq. 1 ^{er} nivel, der. 3 ^{er} nivel.	20
Figura 4: Nube de Referencia creada a partir de datos Lidar para Objetivo 1	20
Figura 5: MDE obtenidos de la prueba J_V_1, arriba izquierda Pix4D, arriba derecha PhotoScan, abajo derecha Correlator3D	21
Figura 6: Puntos, líneas y polígonos de control Objetivo 5	22
Figura 7: Análisis geométrico Objetivo 1	23
Figura 8: Número de puntos de la nube en Objetivo 1	24
Figura 9: Resultado Chi2 Test en prueba J_V_1 con Pix4D izq. y con PhotoScan der.	25
Figura 10: Localización de puntos, líneas y área de control en Objetivo 1	28
Figura 11: Errores Geométricos Objetivo 1	29
Figura 12: Ortofotos obtenidos de la prueba J_V_1, arriba izquierda Pix4D, arriba derecha PhotoScan, abajo ortofoto de la prueba J_V_3 Correlator3D, con detalle de error visual.	29
Figura 13: Número de puntos de la nube en Objetivo 2	30
Figura 14: MDE Prueba E_V_1arriba y prueba E_V_2 abajo Para Pix4D y PhotoScan	33
Figura 15: Error geométrico Objetivo 2	35
Figura 16: Ortofotos prueba E_V_1, Pix4d izquierda, PhotoScan derecha.	35
Figura 17: Ortofotos prueba E_V_2, Pix4d izquierda, PhotoScan derecha con detalles.....	36
Figura 18: Ortofotos prueba E_V_3, Pix4d izquierda, PhotoScan derecha con detalles.....	36
Figura 19: alineación Pix4D CN_V_2.....	37
Figura 20: Número de puntos de la nube en Objetivo 3	38
Figura 21: Resultados Correlator3D prueba CN_2	41
Figura 22: Error geométrico Objetivo 3	41
Figura 23: Número de puntos de la nube en Objetivo 4	43
Figura 24: Dispersión geométrica Objetivo 4	48
Figura 25: Número de puntos de la nube en Objetivo 3	49
Figura 26: Error geométrico Objetivo 5	53
Figura 27: Ortofotos generadas en prueba Y_PA_1	53
Figura 28: Incorrecta alineación Pix4D Objetivo 6.....	54
Figura 29: Ortofoto y MDE para prueba ME_1 con PhotoScan.....	56
Figura 30: Ortofoto y MDE para prueba ME_1 con Pix4D	56

Figura 31: Ortofoto y MDE para prueba ME_1 con PhotoScan	57
Figura 32: Ortofoto y MDE para prueba ME_2 con PhotoScan.....	57
Figura 33: Número de puntos de la nube en Objetivo 3	58
Figura 34: Análisis geométrico Objetivo 7	61
Figura 35: Coste computacional alineación Objetivo 8	62
Figura 36: Coste computacional densificación Objetivo 8.....	63
Figura 37: Coste computacional producción MDE Objetivo 8.....	63
Figura 38: Coste computacional creación de ortofotos Objetivo 8.....	64
Figura 39: Análisis de tiempo total de coste computacional.....	64
Figura 40: Alineación Pix4D en fotos históricas de las Bardenas	65
Figura 41: Errores de solape en la generación de productos mediante PhotoScan en Bardenas.	65
Figura 42: Nubes de puntos densificada de fotogrametría terrestre. Izquierda PhotoScan, derecha Pix4D	70

❖ INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de las máquinas utilizadas en el proyecto.....	15
Tabla 2: Objetivos y nombre de pruebas.....	17
Tabla 3: Ejemplo Codificación pruebas.....	19
Tabla 4: Número de puntos de Nubes Objetivo 1	24
Tabla 5: Número de celdas por nivel de Octree en Objetivo 1.....	25
Tabla 6: Estadísticas Nubes Objetivo 1	26
Tabla 7: RMSE altimétrico en GSD para Objetivo 1	26
Tabla 8: Indicadores calidad ortofoto Objetivo 1	27
Tabla 9: RMSE planimétrico en GSD para Objetivo 1	28
Tabla 10: Número de puntos de Nubes Objetivo 2	30
Tabla 11: Número de celdas por nivel de Octree en Objetivo 2.....	30
Tabla 12: Estadísticas Nubes Objetivo 2	31
Tabla 13: RMSE altimétrico en GSD para Objetivo 2	32
Tabla 14: Indicadores calidad ortofoto Objetivo 2	33
Tabla 15: RMSE planimétrico en GSD para Objetivo 2	34
Tabla 16: Número de puntos de Nubes Objetivo 3	37
Tabla 17: Número de celdas por nivel de Octree en Objetivo 3.....	38
Tabla 18: Estadísticas Nubes Objetivo 3	39
Tabla 19: RMSE altimétrico en GSD para Objetivo 3	39
Tabla 20: Indicadores calidad ortofoto Objetivo 3	40
Tabla 21: RMSE planimétrico en GSD para Objetivo 3	40
Tabla 22: Número de puntos de Nubes Objetivo 4	42
Tabla 23: Número de celdas por nivel de Octree en Objetivo 3.....	43
Tabla 24: Estadísticas Nubes Objetivo 4	44
Tabla 25: RMSE altimétrico en GSD para Objetivo 4	45
Tabla 26: RMSE planimétrico en GSD para Objetivo 4	47
Tabla 27: Número de puntos de Nubes Objetivo 5	49
Tabla 28: Número de celdas por nivel de Octree en Objetivo 5.....	50
Tabla 29: Estadísticas Nubes Objetivo 5	50
Tabla 30: RMSE altimétrico en GSD para Objetivo 5	51
Tabla 31: Indicadores calidad ortofoto Objetivo 5	51
Tabla 32: RMSE planimétrico en GSD para Objetivo 5	52
Tabla 33: Número de puntos de Nubes Objetivo 6	54

Tabla 34: Número de celdas por nivel de Octree en Objetivo 6.....	54
Tabla 35: Número de celdas por nivel de Octree en Objetivo 6.....	55
Tabla 36: Número de puntos de Nubes Objetivo 7	58
Tabla 37: Número de celdas por nivel de Octree en Objetivo 7.....	59
Tabla 38: Estadísticas Nubes Objetivo 7	60
Tabla 39: RMSE altimétrico en GSD para Objetivo 7	60
Tabla 40: RMSE planimétrico en GSD para Objetivo 7	61
Tabla 41: Número de puntos de Nubes Objetivo 10	67
Tabla 42: Número de celdas por nivel de Octree en Objetivo 10.....	67
Tabla 43: Asignación de pesos de productos.....	71
Tabla 44: Asignación de pesos por Objetivo.....	71
Tabla 45: Resultados por objetivo Específico	72
Tabla 46: Reultados Finales Elección Herramienta.....	74

1 INTRODUCCION

1.1 ANTECEDENTES

En los últimos años se ha desarrollado mucho el software utilizado en fotogrametría. Estos avances han permitido que tareas técnicas que tradicionalmente hacían expertos puedan verse ahora apoyadas de forma muy importante por herramientas automáticas.

En concreto estas herramientas tienen utilidad principalmente en el siguiente conjunto de fuentes: imágenes de satélite, imágenes captadas por drones, imágenes escaneadas de vuelos históricos, imágenes provenientes de *mobile mapping* e imágenes frame aerotransportadas.

La automatización de procesos se ha visto incrementada en parte por el desarrollo de algoritmos capaces de correlar automáticamente grandes cantidades de imágenes solapadas entre sí, estimando con precisión parámetros internos y externos de la cámara. Todo ello es representado en un modelo 3D de la superficie.

El desarrollo del algoritmo SIFT (Lowe, 1999) para la mejora de la visión artificial aplicado al campo de la fotogrametría ha llevado al desarrollo de nuevas herramientas (MicMac , 2005; PhotoScan, 2010; Pix4D, 2011).

Existen estudios que han analizado el correcto funcionamiento de este algoritmo en aplicaciones fotogramétricas (Lingua et al., 2009).

La aparición de estas nuevas aplicaciones junto con el desarrollo de los UAV ha propiciado a la creación de nuevas líneas de producción cartográfica de alta resolución consiguiendo una optimización en el coste de producción (Vallet et al., 2011; Jaud et al., n.d.).

Estas nuevas aplicaciones cambian radicalmente el enfoque tradicional para la producción de productos fotogramétricos, pasando de un trabajo más manual al desarrollo de nuevos procesos automáticos.

El interés en el conocimiento de este tipo de herramientas ha llevado a la creación de numerosos estudios acerca las capacidades, limitaciones y resultados obtenidos a través de ellas (Bhandari et al., 2015; Gross, n.d.; Moutinho et al., 2106).

En la actualidad no existe una tendencia clara hacia la elección del software idóneo para el tratamiento de imágenes, siendo esto la causa para el desarrollo del proyecto planteado.

El presente proyecto pretende contribuir a la investigación y el desarrollo de nuevos métodos y aplicaciones para la generación de productos fotogramétricos a partir de la utilización de herramientas innovadoras en el ámbito de estudio.

Este proyecto ha sido propuesto por la empresa Tracasa Instrumental como trabajo final al Máster en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección impartido por la Universidad Pública de Navarra (UPNA) a través de la Escuela de Ingenieros Agrónomos.

Por ello la totalidad del trabajo se ha realizado en las instalaciones de la empresa en Sarriguren.

Tracasa Instrumental es una empresa pública especializada en la prestación de servicios basados en el uso de información territorial, así como basados en las tecnologías de la información y las telecomunicaciones, principalmente para Gobierno de Navarra, contribuyendo a la innovación y el desarrollo del sector.

Una de las líneas de investigación de la empresa son los Sistemas de Información Territorial, proporcionando soluciones tecnológicas orientadas a la Gestión Territorial en el ámbito público o privado en diversos sectores: medioambiente, urbanismo y ordenación territorial, agricultura, forestal, turismo, utilities, emergencias-interior, cartografía, catastro.

1.2 OBJETIVO

El objetivo principal es analizar tres herramientas para la obtención de tres productos cartográficos, proporcionando la información necesaria para escoger la más adecuada en base a los resultados extraídos del análisis de tiempos de procesamiento, tiempos de operador y precisión de resultados, así como en el soporte técnico de imágenes; tipos y número máximo de estas.

Sobre una preselección de cinco herramientas, las tres herramientas seleccionadas por el área técnica de cartografía de la empresa para las pruebas son: Pix4D, Agisoft de PhotoScan y Correlator3D de Simactive. Las dos herramientas descartadas son: UAS-Master de Inpho y ContextCapture de Bentley.

Los tres productos analizados son: nubes de puntos, modelos de elevación y ortofotos.

Se han planteado los siguientes **objetivos específicos**:

- Analizar el efecto del efecto del incremento de imágenes de una misma zona.
- Analizar el efecto del procesado de vuelos a diferentes alturas sobre una misma zona.
- Analizar la capacidad de procesado de vuelos con diferentes focales.
- Analizar el efecto que crea la introducción de puntos de apoyo.
- Analizar el comportamiento al tratar con imágenes borrosas.
- Analizar el comportamiento al tratar imágenes en zonas homogéneas.
- Analizar la afección de introducir orientaciones internas de GPS, IMU.
- Analizar la capacidad para tratar imágenes escaneadas.
- Analizar la capacidad para tratar imágenes de gran tamaño.
- Analizar la capacidad para tratar imágenes de barrido.
- Analizar la capacidad de procesar imágenes terrestres.

Como parte del trabajo, no siendo unos de los objetivos de este, se ha realizado un análisis cualitativo de las herramientas estudiadas.

2 MATERIALES Y HERRAMIENTAS

2.1 MATERIALES

Los materiales utilizados a lo largo del proyecto han sido principalmente juegos de imágenes de diferentes zonas capturadas; (1) aéreas obtenidas tanto por drones como por aviones y (2) terrestres.

Las fuentes de datos han sido las siguientes:

❖ Innpacto

Proyecto realizado por Tracasa S.A. el cual pretendía generar fotogrametría a partir de vehículos aéreos no tripulados (UAV). El proyecto contiene una serie de vuelos los cuales han sido utilizados en este proyecto para el análisis de las diferentes herramientas.

Innpacto está compuesto de 5 áreas de estudio (Castillo de Javier, Eunete, Mendinueta, Yugo, Canal de Navarra) con diferentes características cada una de ellas.

❖ Mavinci

Conjuntos de imágenes cedidos por la empresa Mavinci captados por su UAV sobre diferentes zonas de estudio y en diferentes fechas.

Estos conjuntos de datos se caracterizan ya que están acompañados de fotocoordenadas tomadas mediante GPS RTK.

❖ Ortofoto histórica

Conjuntos de imágenes escaneadas de fotogramas históricos aéreos tomados en diferentes épocas y lugares. Por un lado, se ha procesado un vuelo de la zona de Bardenas, una zona del norte de Navarra denominada “Polígono 16” y una serie de imágenes de un vuelo en La Rioja.

❖ RCD30

Se trata de una cámara diseñada por la empresa suiza Leica. Se caracteriza por la toma de imágenes oblicuas y de largo formato, mayores a 40MP. Se ha solicitado un juego de imágenes de muestra a la casa para su procesamiento.

❖ ADS 80

Se trata de una cámara diseñada por la empresa suiza Leica la cual se caracteriza por la toma de imágenes de barrido. Se ha utilizado una imagen perteneciente a Tracasa S.A. propietaria de una cámara de este tipo.

❖ ZILBETI

Proyecto elaborado por Tracasa S.A. en el cual trata la generación de modelos 3D de ciudad a partir de fotogrametría terrestre. Es el único conjunto de imágenes de toma terrestre del proyecto.

Un resumen de todos los datos utilizados se encuentra en el Anexo 1.

Dentro de esta serie de datos se han seleccionado Ortofotos, nube de puntos Lidar y puntos de apoyo en campo, que se han utilizado como productos de comparación y como apoyo al desarrollo en algunos de los análisis.

2.2 HERRAMIENTAS

A lo largo del estudio se ha trabajado con diferentes aplicaciones. Se pueden dividir en dos grupos, las aplicaciones objeto de estudio y las aplicaciones utilizadas como apoyo tanto en el pre-proceso de datos como en el post-proceso para análisis de resultados.

Dentro del primer grupo se han introducido Pix4D, PhotoScan y Correlator3D. Se trata de herramientas utilizadas para la obtención de productos fotogramétricos a partir de imágenes tanto aéreas como terrestres basándose en la correlación automática.



Figura 1: Logo Herramientas objeto de estudio

Al segundo grupo pertenecen; Python, QGis, y CloudCompare.

Pix4D Pro Mapper es una herramienta de origen suizo desarrollada por Christoph Strecha, investigador en el campo de la fotogrametría digital orientada a UAV. Se encuentra en el mercado desde el año 2011.

Es capaz de combinar todo tipo de imágenes aéreas y terrestres para la obtención final de productos 2D y 3D. La versión que se ha estudiado en este trabajo contiene el módulo “add-on” que ha permitido el tratamiento de imágenes superiores a 40 MP.

Permite la generación de Nubes de puntos 3D, así como la producción de Modelos digitales de superficie y de elevaciones a partir de los cuales es capaz de generar Ortofoto verdadera.

Capaz de trabajar con una amplia variedad de modelos de UAV y tratar imágenes de todo, ya sean RGB, NIR tanto multiespectrales como hiperespectrales. Posee un amplio abanico de posibilidades para la producción de productos orientado a la agricultura de precisión, los cuales no han sido objeto de estudio.

Pix4D concede licencias educacionales no comerciales.

PhotoScan es una herramienta desarrollada y perteneciente a la empresa rusa Agisoft LLC. Se encuentra en el mercado desde el año 2010.

Es capaz de procesar imágenes digitales tanto aéreas como terrestres con el objetivo de generar productos espaciales 2D y 3D. Permite la creación de nubes de puntos y su posterior

edición y clasificación, así como modelos digitales de elevaciones a partir de los cuales produce ortofoto verdadera.

La versión examinada en el estudio es PhotoScan Pro que permite la creación de productos cartográficos. Esta versión permite la introducción y modificación de parámetros mediante lenguaje de programación de Python.

Correlator3D es una herramienta canadiense desarrollada y perteneciente a la empresa SimActive. Se encuentra en el mercado desde el año 2003.

Está enfocada al procesamiento de imágenes satelitales y aéreas obtenidas tanto de aviones como de drones. Permite la creación de todo tipo de productos cartográficos.

Esta herramienta permite el tratamiento de imágenes de gran formato de hasta 250MP y un número ilimitado de estas.

Es una herramienta que funciona por módulos, en este proyecto se ha solicitado licencia con permiso para trabajar con todos ellos. Se ha estudiado el proceso de generación automático disponible en el módulo UAV además del módulo ADS80.

Todas las herramientas anteriores son de tipo comercial, por lo que se ha decidido solicitar licencias de prueba para cada una de ellas con una duración de 30 días.

En el caso de PhotoScan se han solicitado dos licencias de prueba debido a que la primera se ha agotado durante el primer mes para las pruebas iniciales. La empresa Agisoft ofrece licencias de prueba con duración de 30 días.

Respecto a la licencia de Pix4D se ha solicitado una licencia con el add-onn implementado, esta ha sido entregada en dos partes, una primera inicial de 15 días y otra segunda de otros 15. Pix4d, no ofrece licencias de prueba de duración superior a 15 días por lo que ha sido necesario contactar con los responsables de ventas para que concedieran una ampliación.

Por último, Correlator3D al igual que Pix4d, tiene como límite de licencia de prueba 15 días, tras contactar con ellos, se ha realizado una conferencia vía Webex en la cual se ha planteado las necesidades del proyecto. Tras ello SimActive concede el uso de dos licencias de 15 días sin restricciones en sus módulos.

QGIS es un Sistema de Información Geográfica de código abierto que se ha utilizado como herramienta de apoyo a lo largo de todo el proyecto.

Se ha utilizado para la visualización de puntos de apoyo sobre ortofotos para analizar localizaciones, como herramienta de superposición de diferentes capas y finalmente para el análisis de resultados de productos finales como MDEs u ortofotos.

Python es un lenguaje de programación interpretado cuya filosofía hace hincapié en una sintaxis que favorezca un código legible.

Se trata de un lenguaje de programación que soporta orientación a objetos, programación imperativa y, en menor medida, programación funcional. Es un lenguaje interpretado, de tipo dinámico y multiplataforma.

Es administrado por la Python Software Foundation. Posee una licencia de código abierto, denominada Python Software Foundation License.

CloudCompare es un software de procesamiento de nubes de puntos 3D. También puede manejar mallas triangulares y las imágenes calibradas. Fue creado originalmente durante una colaboración entre Telecom ParisTech y la división de I + D de EDF. Es un proyecto de código abierto independiente y un software libre.

Respecto al soporte físico, se han utilizado dos equipos. El primero de ellos ha sido una máquina virtual y el segundo una máquina física. Durante un periodo de prueba inicial, se han percibido grandes limitaciones de procesamiento para la primera máquina, por tanto, se ha planteado como solución implementar la puesta en marcha de una nueva máquina con mejores prestaciones físicas.

Tabla 1: Características de las máquinas utilizadas en el proyecto

MAQUINA VIRTUAL		MAQUINA FÍSICA
Procesador	Intel(R) Xenon(R) CPU E5-2026 v2 @2.10GHz	Intel(R) Xenon(R) CPU E3-12345 v5 @3.50GHz
Tarjeta gráfica	No tiene tarjeta gráfica	NVIDIA GeForce GTX 1060 6GB (10 Cores 708 MHz, 6144MB)
Memoria RAM	4GB	32GB

3 METODOLOGÍA

3.1 BÚSQUEDA, SELECCIÓN Y EDICIÓN DE DATOS A UTILIZAR

En primer lugar, se ha realizado una revisión bibliográfica para el estudio del estado del arte en la actualidad.

Una vez planteado el objetivo principal del proyecto se han recopilado los datos necesarios para el desarrollo del proyecto.

La recopilación de estos juegos de imágenes con sus correspondientes metadatos y anexos, así como su preprocesado con respecto a los objetivos del proceso ha ocupado una parte importante del proyecto.

En esta fase del proyecto se han seleccionado los datos necesarios del proyecto Impacto y Zilbeti, descargado datos de Mavinci y solicitado datos de ADS80 y RDC30.

Se ha utilizado el lenguaje de programación Python a lo largo del proyecto para la fase de preparación de datos y finalmente para la parte de análisis de resultados.

En la fase de preparación de materiales para el proyecto, se ha desarrollado una herramienta para modificar archivos contenedores de fotocoordenadas en formato (.xls). Ha sido necesario modificar el nombre de las imágenes añadiéndole el formato de extensión al identificador de la imagen para que posteriormente las herramientas pudieran enlazar las imágenes con sus correspondientes metadatos: fotocoordenadas X, Y, Z y Giros Omega, Phi, Kappa. Solamente se utiliza esta herramienta en aquellas pruebas que se ha plantado la introducción de metadatos.

Se ha desarrollado otra herramienta para la generación de ruido aleatorio en las coordenadas GPS de uno de los objetivos, se ha pretendido añadir un error absoluto menor a 5 metros en las coordenadas RTK para asimilarlas al error que puede tener un dispositivo GPS sin RTK.

Para eliminar información innecesaria en la zona exterior de la imagen. Esta herramienta puede aplicarse también a fotogramas escaneados para eliminar los bordes que no contienen datos de la imagen.

Para la parte de análisis de resultados, se ha creado una herramienta que calcula el porcentaje de píxeles sin información para imágenes RGBA que posteriormente se ha utilizado para analizar los huecos de las ortofotos generadas por las herramientas. Por otro lado, calcula el número de píxeles totales de las ortofoto y su índice de compacidad.

Todos los códigos generados, se han introducido en el Anexo 9.

3.2 PLANIFICACIÓN

Desde un primer momento se ha observado la imposibilidad de realizar todos los análisis con cada uno de los juegos de imágenes debido a su alto coste temporal, por lo que se ha realizado una selección.

Para cada objetivo específico, se han planificado una serie de análisis con el conjunto de imágenes previamente establecido. Se puede ver un ejemplo en la Tabla 2. Todas ellas se han repetido con las diferentes aplicaciones a estudiar.

Todas las pruebas se han planteado con una serie de datos de entrada, existen pruebas en las cuales no han sido necesarios todos. Estos parámetros han sido:

- Vuelo: Juego de imágenes utilizado
- Puntos de apoyo: Puntos utilizados para el apoyo
- Fotocentros: Coordenadas X, Y, Z de las imágenes obtenidas del GPS
- IMU; w, f, k obtenidos de la unidad de medición inercial
- Focal y Pixel Size: Tamaño de la focal utilizada en la toma de imágenes y de pixel de la misma
- Calibración de la cámara: Utilización de informes de distorsiones
- Puntos de control: Puntos utilizados para el posterior análisis.

Se pueden encontrar todos los objetivos específicos con sus correspondientes pruebas y contenidos en el Anexo 2.

Tabla 2: Objetivos y nombre de pruebas

NUMERO OBJETIVO	DESCRIPCIÓN	PRUEBA PARCIAL
1	Diferentes direcciones	J_V_1 J_V_3 J_V_2
2	Diferentes alturas	E_V_1 E_V_3 E_V_2
3	Diferente focal	CN_V_1 CN_V_2
4	Puntos de Apoyo	J_PA_1 J_PA_5 J_PA_2 J_PA_6 J_PA_3 Relativo_Sin_Apoyo J_PA_4 Relativo_Con_Apoyo
5	Imágenes Borrosas	Y_PA_1 Y_PA_3 Y_PA_2
6	Zonas homogéneas	ME_1 ME_2
7	RTK. GPS, Nada	MA_K_FI_1 MA_K_FI_4 MA_K_FI_2 MA_K_FI_5 MA_K_FI_3
8	Coste computacional	TP_1 TP_4 TP_2 TP_5 TP_3
9	Imágenes Históricas	H_1 H_Pol_16
10	Oblicuas RCD30	RCD30_1 RCD30_3 RCD30_2 RCD30_4
11	Proceso ADS80	ADS80_1
12	Mobile Mapping	Z_1

3.3 REALIZACIÓN DE PRUEBAS

Tras la realización de las pruebas, con cada herramienta se ha obtenido tres productos visibles en la Figura 2:

- Nube densa de puntos (DSM)
- Modelo digital de elevaciones (MDE)
- Ortofotos y donde se disponga, Ortofoto Verdadera

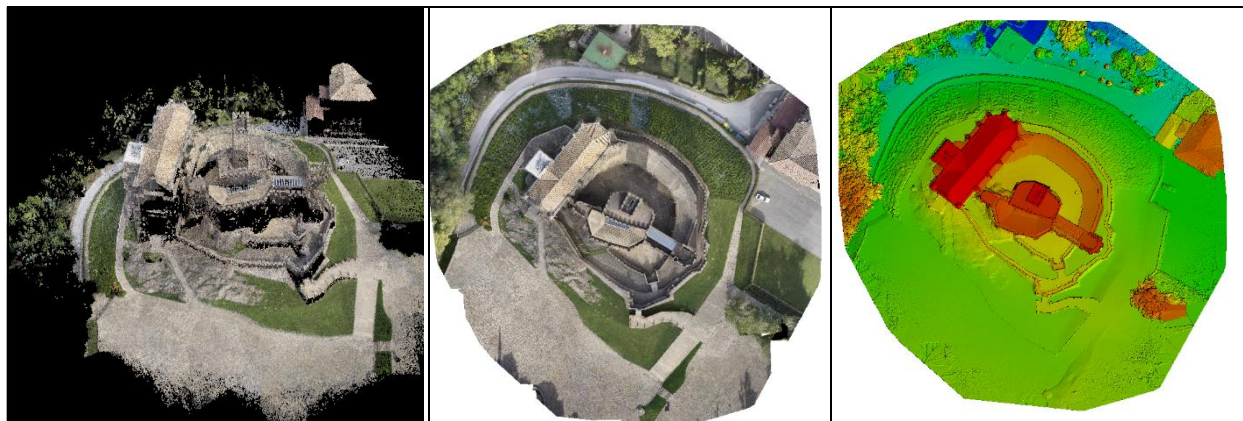


Figura 2: Productos obtenidos en el Proyecto; Nube de Puntos, Ortofoto y MDE

Estos productos, han sido posteriormente sobre los que se realiza el análisis de resultados tanto cuantitativo.

Correlator3D en su proceso automático no genera nubes de puntos por lo que no han sido posible estudiar este producto con esta herramienta.

Las tres herramientas ofrecen los mismos productos, pero no tienen unos pasos de proceso idénticos por lo que en ciertos aspectos ha podido variar la composición de las pruebas.

A continuación, se describen parámetros de proceso comunes que se han considerado importantes:

- Alineación inicial de imágenes: se ha utilizado tanto en PhotoScan como en Pix4D valores altos.
- Construcción de nube densa de puntos con un parámetro intermedio de calidad. En la fase inicial del proyecto se ha visto que un parámetro alto en la calidad de nube de puntos no iba a funcionar con las pruebas más complejas. Con un parámetro intermedio las nubes son comparables entre sí.
- Producción de MDE y Ortofotos con un GSD de 1 cm, posteriormente los MDE se han exportado a 3 cm e incluso a 2cm.

Por un lado, se han utilizado los tutoriales propios de cada herramienta además de consultas en foros especializados. A continuación, se introducen enlaces a sus tutoriales online.

- Correlator3D: http://www.simactive.com/sites/default/files/simactive_correlator3d_whitepaper.pdf
- PhotoScan: http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_2_en.pdf
- Pix4D: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/204272989-Offline-Getting-Started-and-Manual-pdf-#gsc.tab=0>

Por otro lado, se ha creado un breve tutorial con los principales pasos seguidos en la creación de las pruebas, se encuentran disponibles en el Anexo 15.

Debido a la gran cantidad de archivos generados en el proyecto, se decide crear una codificación de las pruebas haciendo referencia al producto, herramienta, y conjunto de imágenes utilizado. Se observa un ejemplo en la Tabla 3.

Tabla 3: Ejemplo Codificación pruebas

REF	PRUEBA	PRODUCTO	HERRAMIENTA
J_V_1_Ortho_Photo	J_V_1	Ortofotografía	PhotoScan Agisoft
J_V_1_Ortho_Pix	J_V_1	Ortofotografía	Pix4D
J_V_1_MDE_Photo	J_V_1	Modelo Digital de Elevaciones	PhotoScan Agisoft
J_V_1_MDE_Pix	J_V_1	Modelo Digital de Elevaciones	Pix4D
J_V_1_Nube_Photo	J_V_1	Nube Densa de Puntos	PhotoScan Agisoft
J_V_1_Nube_Pix	J_V_1	Nube Densa de Puntos	Pix4D
J_V_1_Report_Photo	J_V_1	Informe	PhotoScan Agisoft
J_V_1_Report_Pix	J_V_1	Informe	Pix4D

A lo largo de los objetivos se ha realizado un análisis de coste computacional y operador que se puede observar en el Anexo 7.

3.4 COMPARACION DE PRODUCTOS

Una vez que se han obtenido los productos de las diferentes pruebas, se procede a la comparación de los resultados, para ello se han pensado una serie de medidas que ofrezcan resultados cualitativos de estos productos con las diferentes herramientas que posteriormente faciliten el análisis.

La gran cantidad de tipos de prueba en los que pueden aplicarse estas herramientas, y la cantidad de resultados que se prevé obtener hace que no sea posible tomar suficientes muestras como para que el análisis de precisiones en las medidas sea estadísticamente significativo, debido principalmente al tiempo de operación que es necesario para localizar los puntos de control en cada uno de los productos obtenidos.

3.4.1 MEDIDAS DE NUBES DE PUNTOS

Se han recopilado medidas de calidad en nubes de puntos en base al análisis de distancias entre los puntos (ISO 19157:2013 – Geographic information- Data quality).

En el trabajo, el análisis de resultados obtenidos de las nubes de puntos se ha realizado mediante la herramienta Cloud-Compare que ofrece estadísticas de nubes de puntos.

En primer lugar, se ha realizado una comparativa con el número de puntos generado por cada herramienta.

En segundo lugar, se ha estudiado la uniformidad de las diferentes nubes. Para ello se ha medido el número de celdas en las que la herramienta clasifica la nube en diferentes niveles de Octree.

Un Octree es una jerarquía en árbol de planos de separación que divide el espacio tridimensional alrededor de un punto en 8 partes. Un nodo del Octree es un punto y tres planos que pasan por él de dimensiones infinitas. Los tres planos producen 8 espacios limitados por los planos pero que en dirección contraria son infinitos. Un nodo está representado por la posición X,

Y, Z donde se cruzan sus 3 planos. Normalmente los 3 planos de separación son paralelos a X, Y, Z formando ángulos de 90 grados entre sí (Figura 3).

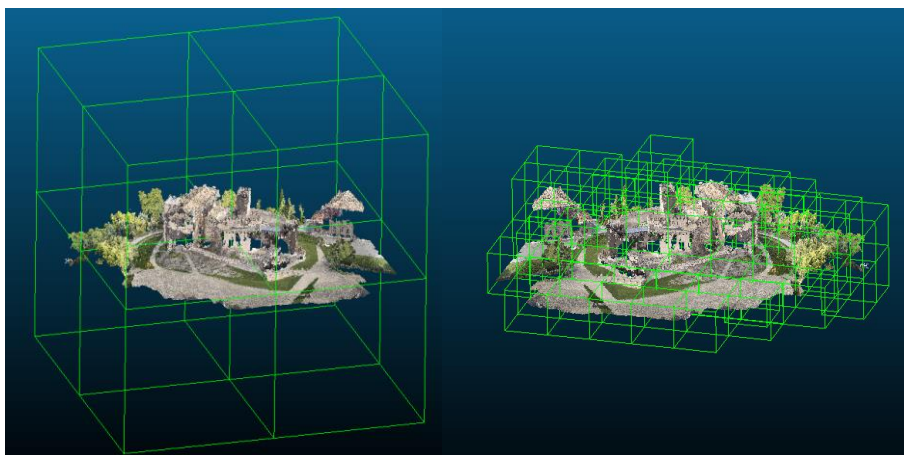


Figura 3: Octree sobre nube de puntos de Javier. Izq. 1^{er} nivel, der. 3^{er} nivel.

En el proyecto ha establecido un tamaño de celda máximo común para todas las nubes de puntos en su último nivel, este ha sido 0.0007.

Por último, como tercera medida se han medido distancias entre nubes de punto.

En aquellas pruebas en las que se ha dispuesto de realidad terreno como el caso de las basadas en el proyecto Innpacto, se ha utilizado la nube de puntos del Lidar como referencia real (Figura 4). Se ha realizado una comparativa con las nubes de puntos respecto a esta mediante un test de Chi2 (Ostrowski et al., 2014), este ha dado como resultado la desviación estándar y la distancia media con respecto a la nube de referencia.

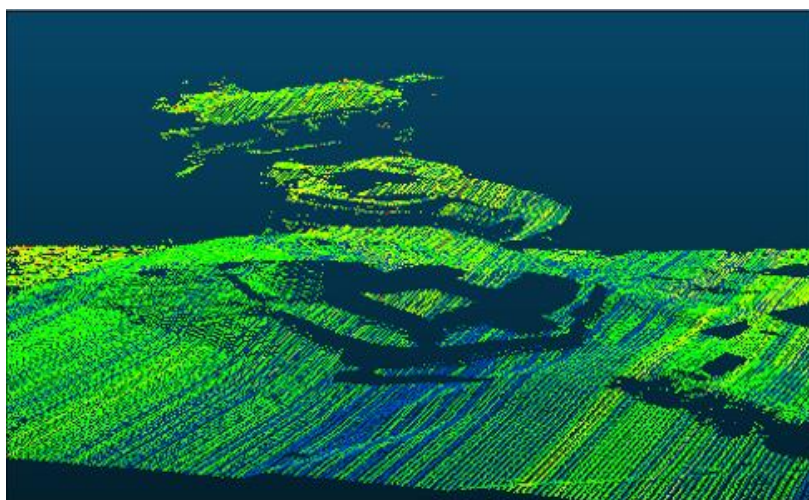


Figura 4: Nube de Referencia creada a partir de datos Lidar para Objetivo 1

En aquellos objetivos en los cuales no se disponga de realidad terreno, las nubes generadas se han comparado con la nube de mayor número de puntos creada por la misma para dicha prueba tomando esta como referencia. En estos casos como resultado se ha tenido una precisión relativa respecto a la nube de referencia.

Todas las tablas con datos calculados se encuentran en el Anexo 4.

3.4.2 MEDIDAS DE MDE

La medida que se ha utilizado para conocer la calidad de los modelos en altimetría ha sido la medición de la cota de los puntos de control en el modelo creado. Esta comparación altimétrica se ha realizado en el apartado de cálculo de errores en ortofotos (3.4.3).

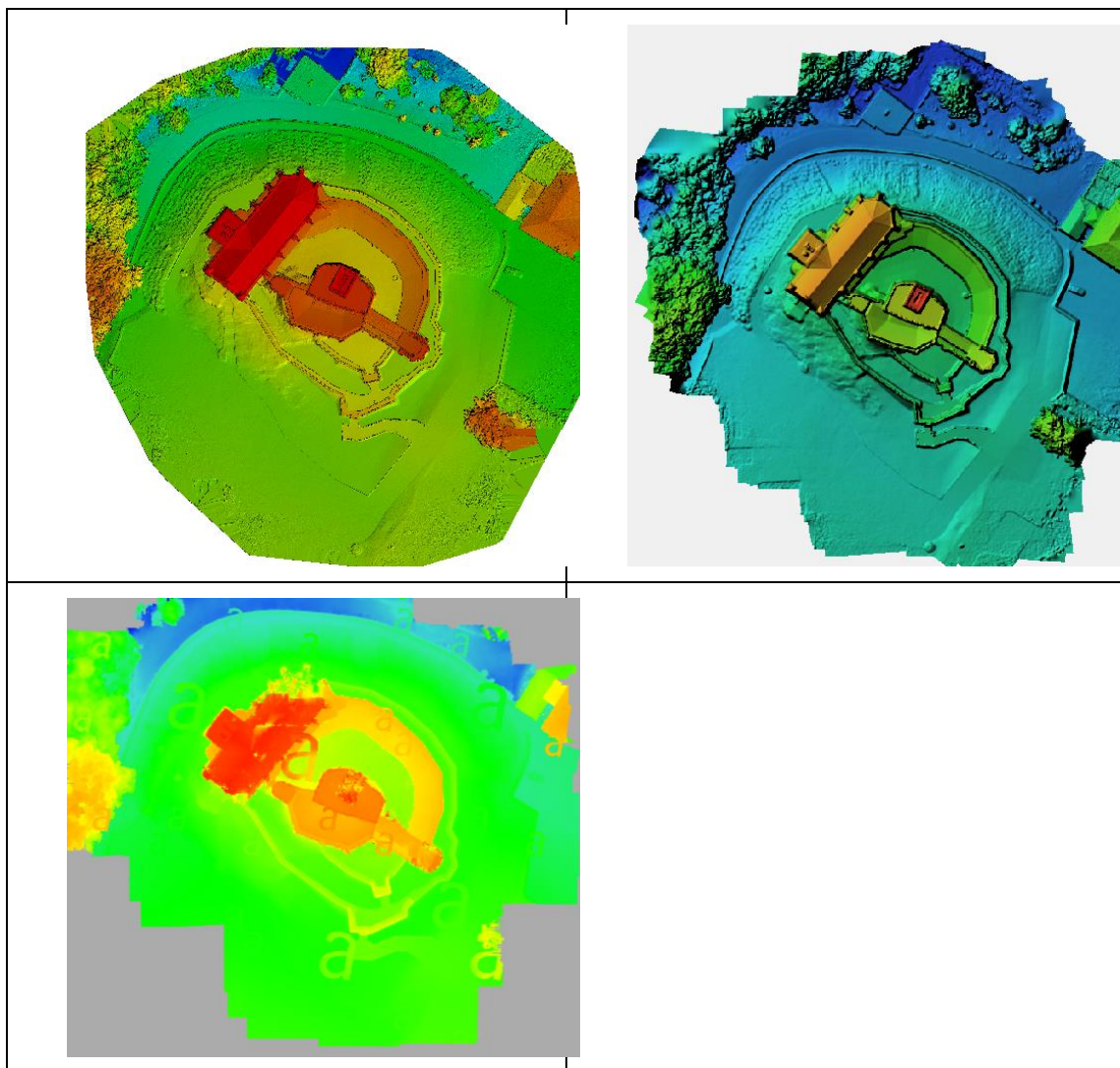


Figura 5: MDE obtenidos de la prueba J_V_1, arriba izquierda Pix4D, arriba derecha PhotoScan, abajo derecha Correlator3D

3.4.3 MEDIDAS DE ORTOFOTOS

En el caso de las ortofotos, para el análisis de los resultados, se han creado 4 indicadores que han sido: número total de píxeles con dato creados en la ortofoto, porcentaje de píxeles blancos en la ortofoto sobre el total de los creados, índice de compacidad de la imagen y por último mediciones sobre puntos de control.

El índice de compacidad calculado, posteriormente se ha normalizado para poder comprar los diferentes resultados de las diferentes fuentes que se han obtenido. Esta normalización se ha realizado en base al índice de compacidad idóneo que poseería un círculo de área igual al número de píxeles generados con datos en la ortofoto.

La fórmula utilizada para el cálculo de la compacidad de la imagen ha sido:

$$IC = \frac{P}{A}$$

P: Perímetro en píxeles
A: Área en píxeles

Para los 3 primeros indicadores se han utilizado los scripts de Python previamente descritos mientras que en el último indicador se ha utilizado QGIS para realizar medidas entre puntos de control de coordenadas conocidas. Dentro de esta medida se han comparado diferencias entre puntos, líneas y polígonos tal como se detalla a continuación en la Figura 6.

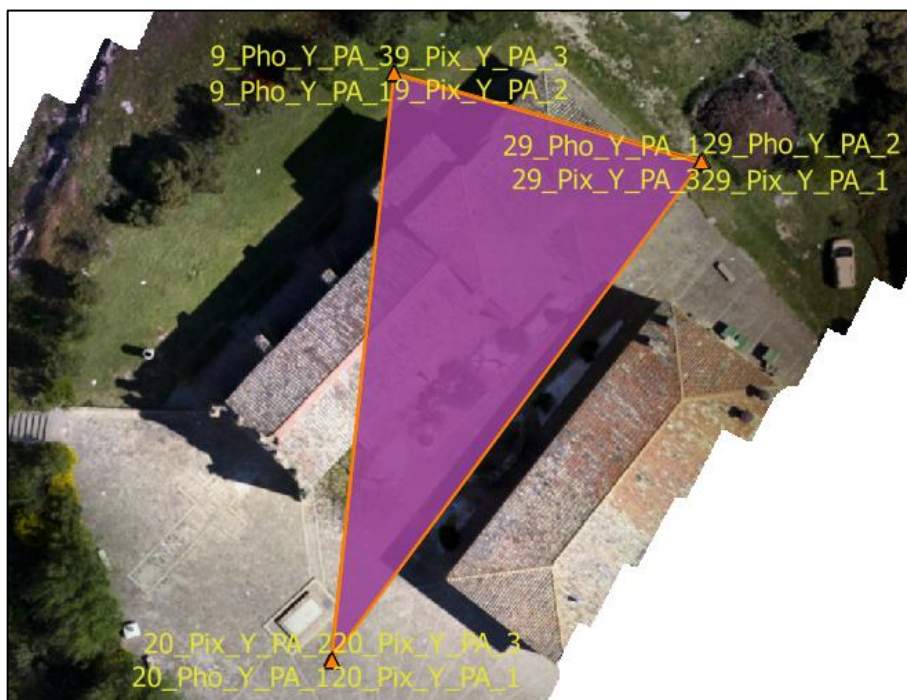


Figura 6: Puntos, líneas y polígonos de control Objetivo 5

Para el cálculo de diferencias de puntos, se ha utilizado el error medio cuadrático RMSE (Gross, n.d.), de 3 puntos de control por imagen, estos puntos han sido diferentes de los utilizados en el apoyo durante la producción.

La fórmula utilizada para su cálculo ha sido la siguiente:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{n}}$$

Se han calculado errores en GSD para planimetría (X, Y) y para altimetría (Z) por separado (Bhandari et al., 2015). La planimetría ha sido medida sobre ortofotos y la altimetría mediante superposición de los puntos de control con los MDE calculados.

Los RMSE que se han obtenido son los siguientes:

- Para todos los puntos de control medidos en una misma ortofoto
- Para todos los puntos en diferentes ortofotos para una misma herramienta.

Una vez calculado estos errores, se han transformados a medidas GSD para que sea más representativo los resultados de todos los productos.

Para un análisis gráfico más visual de los errores geométricos en planimetría, se han creado gráficos de dispersión para cada una de los objetivos y herramientas (Gross, n.d.). En él se representa la diferencia de coordenadas X e Y entre la posición real del punto de control y la medido en las ortofotos resultado visible en la Figura 7.

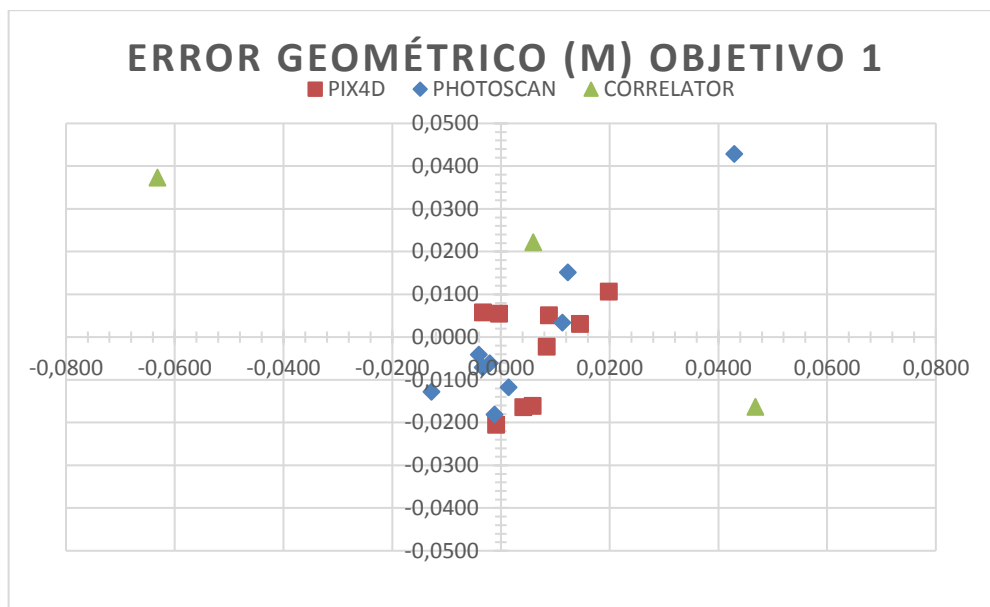


Figura 7: Análisis geométrico Objetivo 1

Para los polígonos en forma de triángulo entre los 3 puntos de control anteriores, se ha medido su área en metros cuadrados y calculado su RSME en GSD.

Para las líneas se han medido la longitud en metros de los segmentos que componen los polígonos anteriores y se ha calculado su RSME en GSD.

Se adjunta en el Anexo 5 las tablas con el contenido de las mediciones y los errores en GSD.

El análisis de resultados se realiza bajo el punto de vista de personal técnico especializado en el ámbito de estudio, para ello, Tracasa Instrumental ha creado un equipo de trabajo compuesto por las partes interesadas en el proyecto. Este equipo de trabajo ha tenido el objetivo de controlar, asesorar y observar el estudio durante su desarrollo.

La periodicidad de reunión de los miembros del equipo ha sido de una vez por semana, en ellas el orden seguido ha sido, en primer lugar, la presentación de los avances y en segundo lugar un tiempo para tratar las dudas sugerencias y cuestiones.

Por otro lado, en paralelo se ha realizado un análisis cualitativo de las herramientas solicitado por el equipo de trabajo, en el cual se han querido conocer diferentes características que ofrecen las herramientas objeto de estudio. Se adjunta el resumen de solicitud por parte del equipo de estas características (Anexo 10).

Se adjunta a modo de resumen un cronograma de las tareas realizadas a lo largo del proyecto en el Anexo 11.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS OBJETIVO 1

4.1.1 NUBE DE PUNTOS

4.1.1.1 ANALISIS PRODUCTO RESULTANTE

Correlator3D en su proceso automático no genera nubes de puntos densa.

Por un lado, se ha anotado el número de puntos creados por las herramientas en cada prueba (Tabla 4).

Tabla 4: Número de puntos de Nubes Objetivo 1

COMPARACION		
		Número de Puntos
OBJETIVO 1	J_V_1_PhotoScan	26378133
	J_V_2_PhotoScan	23002642
	J_V_3_PhotoScan	19000280
	J_V_1_Pix	47391891
	J_V_2_Pix	30238948
	J_V_3_Pix	17281513
	J_V_3_Corre	-

Tanto Pix4D como PhotoScan generan un mayor número de puntos conforme aumenta el número de imágenes introducidas en el proceso.

Cuando el número de imágenes es menor, PhotoScan genera mayor número de puntos, por el contrario, conforme se ha aumentado el número de imágenes, Pix4D genera más puntos que PhotoScan como se observa en la Figura 8.

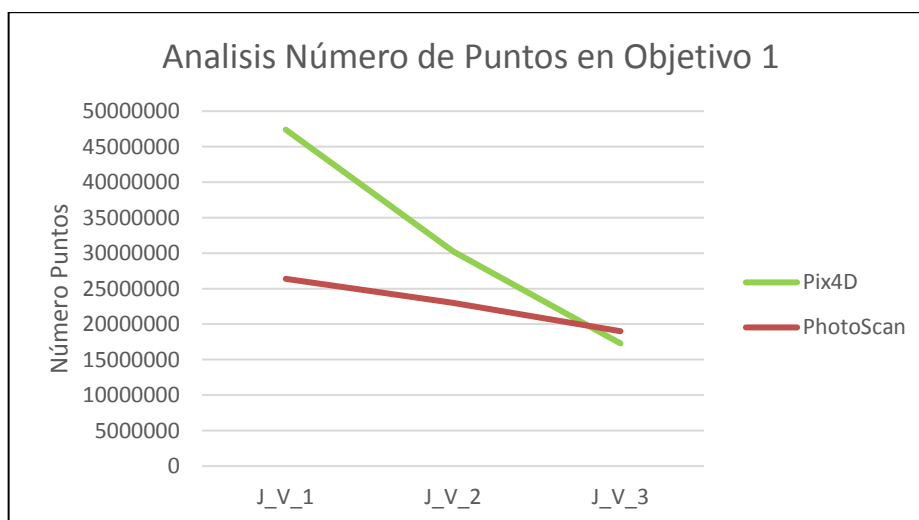


Figura 8: Número de puntos de la nube en Objetivo 1

Por otro lado, se ha estudiado la distribución de la nube midiendo el número de celdas por Octree hasta el noveno nivel visible en la Tabla 5.

Tabla 5: Número de celdas por nivel de Octree en Objetivo 1

Número de celdas por Nivel de Octree						
Octree Level	PhotoScan			Pix4D		
	J_V_1	J_V_2	J_V_3	J_V_1	J_V_2	J_V_3
1	8	8	8	8	8	8
2	25	26	23	27	26	24
3	90	91	82	93	93	83
4	415	392	356	413	418	338
5	1641	1594	1385	1694	1662	1322
6	6568	6190	5340	7126	6709	5156
7	26832	25103	20665	30664	27482	20322
8	107381	99183	80260	128576	112643	82253
9	279798	375146	306574	348485	441330	320047

No se observa una tendencia clara respecto al número de Octree generado en el noveno nivel conforme se aumenta el número de imágenes procesadas. Si se observa que, para un mismo conjunto de datos, Pix4D genera un mayor número de Octree en todos los niveles, por tanto, genera una mayor uniformidad de las nubes.

4.1.1.2 COMPARACIÓN CON REALIDAD TERRENO

Para la comparación de las nubes de puntos se ha utilizado la nube de puntos Lidar del proyecto Innacto como realidad terreno. Esta comparación se hace mediante un test de Chi2 (Figura 9).

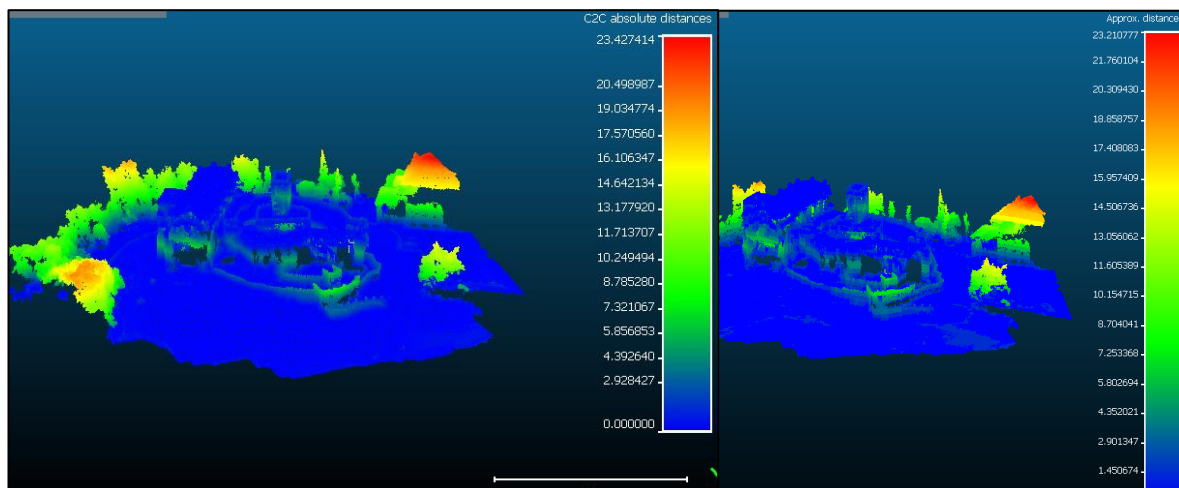


Figura 9: Resultado Chi2 Test en prueba J_V_1 con Pix4D izq. y con PhotoScan der.

Como resultado ha dado la desviación estándar y distancia media de la nube de referencia a la nube objeto de estudio visible en la Tabla 6.

Tabla 6: Estadísticas Nubes Objetivo 1

COMPARACION			
		Distancia media	Desviación Estándar
OBJETIVO 1	J_V_1_PhotoScan	1,8682	3,9089
	J_V_2_PhotoScan	1,6919	3,6655
	J_V_3_PhotoScan	1,6026	3,698
	J_V_1_Pix	1,0536	2,8093
	J_V_2_Pix	1,001	2,6266
	J_V_3_Pix	1,07	2,8324
	J_V_3_Corre	-	-

Respecto a la desviación estándar, no se observa una tendencia clara a la disminución conforme se aumenta el número de imágenes procesado en ninguna de las herramientas.

Se ha observado que tanto las desviaciones de la nube de Pix4D como las distancias a la nube de referencia son menores que en PhotoScan.

4.1.2 MDE

Respecto a los MDE se han medido los valores correspondientes a las localizaciones de los puntos de control y se ha calculado el RSME respecto a la coordenada Z de estos (Tabla 7).

Tabla 7: RMSE altimétrico en GSD para Objetivo 1

RMSE (GSD)		PUNTOS Z
Pix4D	J_V_1	2,406
	J_V_2	1,104
	J_V_3	9,220
	Pix4D General	
PhotoScan	J_V_1	1,471
	J_V_2	1,286
	J_V_3	2,311
	PhotoScan General	1,747
Correlator3D	J_V_3	1,727

Con la herramienta Correlator3D se ha generado solamente el modelo correspondiente a la prueba 3 debido a que la maquina no ha sido capaz de procesar las otras dos pruebas dando un error de memoria. Este modelo ha obtenido un error de 1.72GSD.

En base al objetivo específico, no se observa que la introducción de un mayor número de imágenes en diferentes direcciones mejore los resultados altimétricos. Si se ha observado que los menores errores generados tanto para Pix4D como para PhotoScan han sido en la prueba con un número de imágenes intermedio.

Por tanto, se ha observado que Pix4D ha generado MDE más cercanos a la realidad terreno que PhotoScan.

4.1.3 ORTOFOTOS

4.1.3.1 CALIDAD IMAGEN

A continuación, se ha realizado un análisis de calidad de la imagen conforme a los indicadores calculados en la herramienta de Python Tabla 8.

Tabla 8: Indicadores calidad ortofoto Objetivo 1

PARÁMETROS	OBJETIVO 1						
	PhotoScan			Pix4D			Correlator3D
	J_V_1	J_V_2	J_V_3	J_V_1	J_V_2	J_V_3	J_V_3
FILAS	15009	14887	1267	13724	6781	15632	ND
COLUMNAS	14691	14440	13968	13169	6170	16147	ND
PIXEL CON DATO	163147161	148639941	131071592	148848358	33230901	197118535	ND
PORCENTAJE DATOS SOBRE TOTAL	73,971	36,120	74,233	82,334	79,377	78,074	ND
NUMERO PÍXELES EN HUECOS	567619	464832	124394	19512	261	0	ND
PORCENTAJE PÍXELES EN HUECOS	0,348	0,312	0,095	0,013	0,001	0,000	ND
PÍXELES PERÍMETRO	215429	221050	172167	163078	7391	193445	ND
INDICE COMPACIDA	0,0013	0,0015	0,0013	0,0010	0,0022	0,0098	ND
IDEAL CIRCULO	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0006	0,0003	ND
INDICE COMPACIDAD NORMALIZADO	0,2135	0,1955	0,2358	0,2906	0,2770	0,0257	ND

De la prueba realizada con Correlator3D no ha sido posible extraer indicadores debido a problemas de memoria de la máquina.

El primer indicador analizado ha sido el número de píxeles creados por las herramientas en cada una de las pruebas. Se ha observa que PhotoScan ha generado un número de píxeles con dato mayor conforme se ha aumentado el número de imágenes introducidas en las pruebas. Respecto a los resultados de Pix4D no se ha observado ninguna tendencia por lo tanto no se ha extraído una interpretación clara. En comparativa de las dos herramientas, para un mismo número de imágenes, Pix4D genera un mayor número de píxeles con dato.

Por otro lado, se ha analizado el porcentaje de píxeles nulos respecto al total con dato y en ambas herramientas se observa que conforme al aumento el número de imágenes, el porcentaje de píxeles nulos dentro de la ortofoto aumenta. En este aspecto para una prueba común, Pix4D genera un menor porcentaje de píxeles nulos.

Por último, se analiza el índice de compacidad normalizado. No se ha observado una tendencia clara a la mejoría de esta mediad conforme se aumenta el número de imágenes en ninguna de las herramientas. Pix4D sí que ha generado imágenes más compactas en todas las pruebas.

En referencia al objetivo planteado, mediante el aumento de número de imágenes la calidad de las ortofotos generadas ha sido mejor en Pix4D debido a un cálculo de imágenes más compactas y a la menor creación de píxeles sin dato dentro de la ortofoto.

4.1.3.2 CALIDAD GEORREFERENCIA

Para comparar la calidad de las ortofotos respecto a la realidad, se han medido el error medio cuadrático RMSE en planimetría de puntos de control 4, 12 y 19 respecto de sus homólogos en la ortofoto visibles en la Figura 10. Los resultados del análisis se muestran en la Tabla 9.

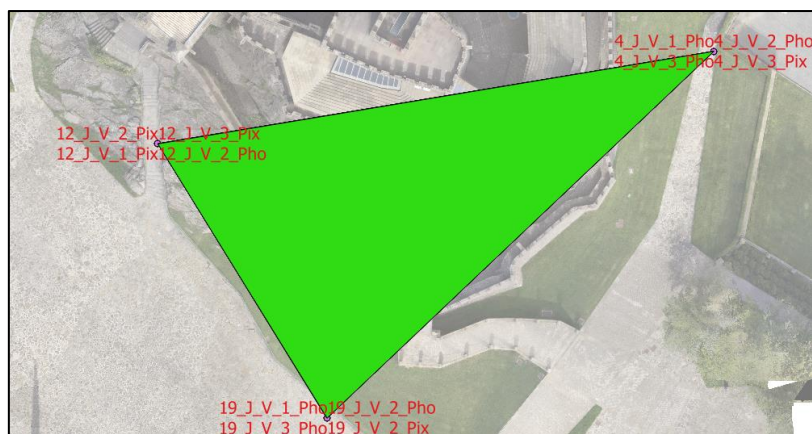


Figura 10: Localización de puntos, líneas y área de control en Objetivo 1

Tabla 9: RMSE planimétrico en GSD para Objetivo 1

RMSE (GSD)		PUNTOS X, Y	LÍNEAS	POLIGONOS
Pix4D	J_V_1	1,254	0,774	19,920
	J_V_2	1,337	0,830	45,510
	J_V_3	1,800	1,482	72,240
	Pix4D General	1,483	1,078	50,618
PhotoScan	J_V_1	1,008	0,406	3,390
	J_V_2	1,006	0,603	17,410
	J_V_3	3,337	2,961	126,970
	PhotoScan General	2,095	1,821	128,203
Correlator3D	J_V_3	7,545	9,916	392,500

Correlator3D debido a problemas con la memoria de la máquina solo ha sido capaz de procesar una prueba.

En primer lugar, analizando el RMSE respecto a mediciones puntuales, se observa una clara tendencia a la disminución del error conforme aumenta el número de imágenes introducidas en el procesado. La herramienta con menor RMSE calculado ha sido PhotoScan con 1 GSD de diferencia respecto a la realidad terreno.

Por otro lado, el RMSE calculado para mediciones lineales, de nuevo se observa una mejoría conforme el número de fotos va en aumento. PhotoScan ha sido la herramienta que menor RMSE lineal ha creado 0.4 GSD de diferencia respecto a la realidad.

En el análisis de áreas abarcadas por los puntos de control, se ha observado una disminución del error conforme ha aumentado el número de imágenes en las pruebas. PhotoScan ha sido la herramienta que menor RMSE ha generado con 3,3GSD.

En relación al objetivo del proyecto se observa que PhotoScan ha sido la herramienta que más se ha acercado a la realidad terreno conforme se ha aumentado el número de imágenes.

Con los puntos de control medidos a lo largo del Objetivo 1 y sus diferencias se ha calculado los errores geométricos respecto a sus valores reales (Figura 11).

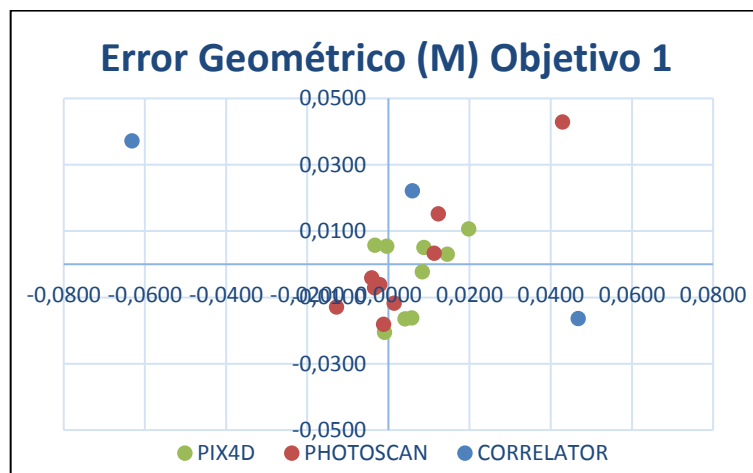


Figura 11: Errores Geométricos Objetivo 1



Figura 12: Ortofotos obtenidos de la prueba J_V_1, arriba izquierda Pix4D, arriba derecha PhotoScan, abajo ortofoto de la prueba J_V_3 Correlator3D, con detalle de error visual.

4.2 RESULTADOS OBJETIVO 2

4.2.1 NUBE DE PUNTOS

4.2.1.1 ANALISIS PRODUCTO RESULTANTE

Correlator3D en su proceso automático no genera nubes de puntos densa.

Se ha anotado el número de puntos creados por las herramientas en cada prueba como muestra la Tabla 10.

Tabla 10: Número de puntos de Nubes Objetivo 2

COMPARACION		
		Número de Puntos
OBJETIVO 2	E_V_1_PhotoScan	10394882
	E_V_2_PhotoScan	10287778
	E_V_3_PhotoScan	4825393
	E_V_1_Pix	6042877
	E_V_2_Pix	7859746
	E_V_3_Pix	2713703
	J_V_3_Corre	-

PhotoScan genera un mayor número de puntos conforme aumenta el número de imágenes introducidas en el proceso. No se puede extraer conclusiones de Pix4D debido a que su comportamiento no ha seguido un patrón. PhotoScan crea un número mayor de puntos en todos los análisis como se visualiza en la Figura 13.

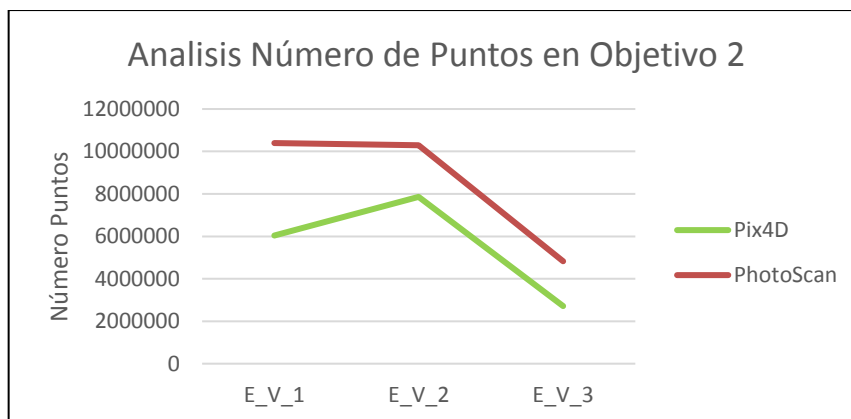


Figura 13: Número de puntos de la nube en Objetivo 2

Por otro lado, se ha estudiado la distribución de la nube midiendo el número de celdas por Octree hasta el noveno nivel (Tabla 11).

Tabla 11: Número de celdas por nivel de Octree en Objetivo 2

Número de celdas por Nivel de Octree Objetivo 2						
Octree Level	PhotoScan			Pix4D		
	E_V_1	E_V_2	E_V_3	E_V_1	E_V_2	E_V_3
1	6	7	6	5	7	8
2	14	16	10	9	17	18

3	37	46	22	34	52	51
4	105	138	72	147	193	246
5	355	654	346	587	924	862
6	1352	2365	1426	2490	3555	6391
7	5425	9641	5569	11180	15634	14577
8	22073	37486	21930	50699	64415	57862
9	52573	90307	56319	225068	295233	231100

Pix4D, ha generado nubes de puntos más uniformes en todos los casos de análisis, ya que para el mismo nivel de Octree ha generado más celdas.

Si analizamos los resultados respecto al objetivo, se ha observado que ambas herramientas han creado nubes más uniformes en el segundo caso de estudio, cuando se dispone de más imágenes a una misma altura por lo que el introducir vuelos a diferentes alturas con su respectivo aumento de imágenes no mejora las nubes d puntos generadas por las herramientas.

4.2.1.2 COMPARACIÓN CON REALIDAD TERRENO

Para la comparación de las nubes de puntos se ha utilizado la nube de puntos Lidar del proyecto Innacto como realidad terreno. Esta comparación se hace mediante un test de Chi2.

Como resultado ha dado la desviación estándar y distancia media de la nube de referencia a la nube objeto de estudio observada en la Tabla 12.

Tabla 12: Estadísticas Nubes Objetivo 2

COMPARACION			
		Distancia media	Desviación Estándar
OBJETIVO 2	E_V_1_PhotoScan	1,004	1,378
	E_V_2_PhotoScan	0,593	0,350
	E_V_3_PhotoScan	0,870	0,654
	E_V_1_Pix	2,482	4,478
	E_V_2_Pix	0,744	0,659
	E_V_3_Pix	0,597	0,401
	J_V_3_Corre	-	-

En el análisis de la desviación estándar se observa que la herramienta PhotoScan ha generado menores desviaciones estándar en todos los casos estudiados.

Con la distancia media ha ocurrido lo mismo, PhotoScan ha generado menores distancias respecto a la nube de referencia en todos los casos de estudio.

Respecto al objetivo específico, se observa que la introducción de vuelos a diferentes alturas, tanto en PhotoScan como en Pix4D aumenta tanto la desviación estándar como la distancia media

Se puede observar que al introducir imágenes a diferentes alturas (E_V_1), las distancias medias aumentan en ambas herramientas, aumentando en Pix4D más del doble que en PhotoScan.

4.2.2 MDE

Respecto a los MDE se han medido los valores correspondientes a las localizaciones de los puntos de control y se ha calculado el RSME respecto a la coordenada Z de estos (Tabla 13).

Tabla 13: RMSE altimétrico en GSD para Objetivo 2

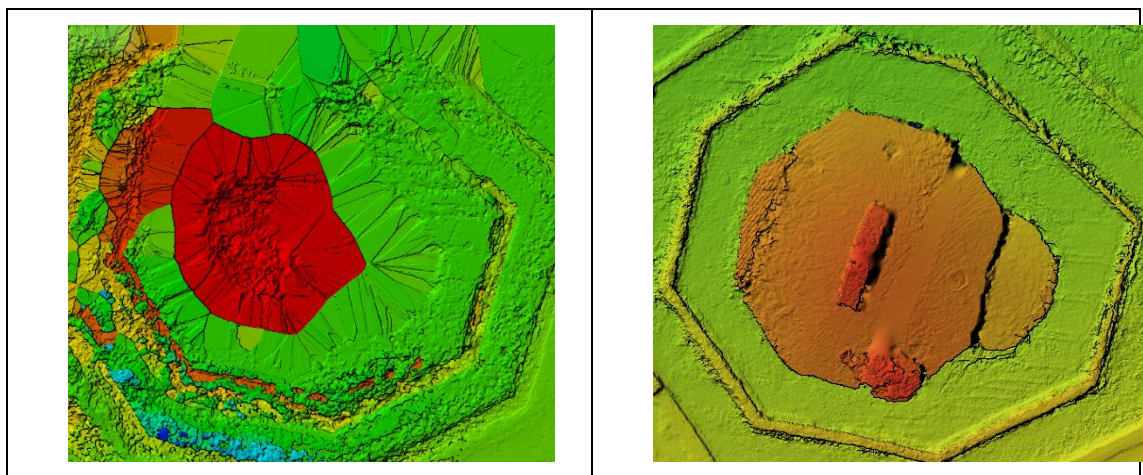
RMSE (GSD)		PUNTOS Z
Pix4D	E_V_1	303,038
	E_V_2	38,839
	E_V_3	23,050
	Pix4D_General	88.862
PhotoScan	E_V_1	10,442
	E_V_2	1,595
	E_V_3	12,009
	PhotoScan_General	9.23
Correlator3D	J_V_3	145,023

Los resultados extraídos del análisis de errores muestran que PhotoScan ha sido más preciso en la creación de los MDE, llegando a tener un RMSE de 1.5 GSD.

Correlator3D ha generado un modelo con muchos errores, 145 GSD.

Si se analiza el MDE respecto al objetivo específico se obtienen los mismos resultados que para las nubes de puntos, la introducción de vuelos a diferentes alturas no genera modelos más precisos. Para este caso de análisis E_V_1, PhotoScan genera un menor error que Pix4D.

En los MDE creados por las herramientas se ha observado que la herramienta PhotoScan genera un modelo de mayor calidad a simple vista que el creado por Pix4D como muestra la Figura 14, esto también viene apoyado por los resultados extraídos del análisis de altimetría respecto a los puntos de control.



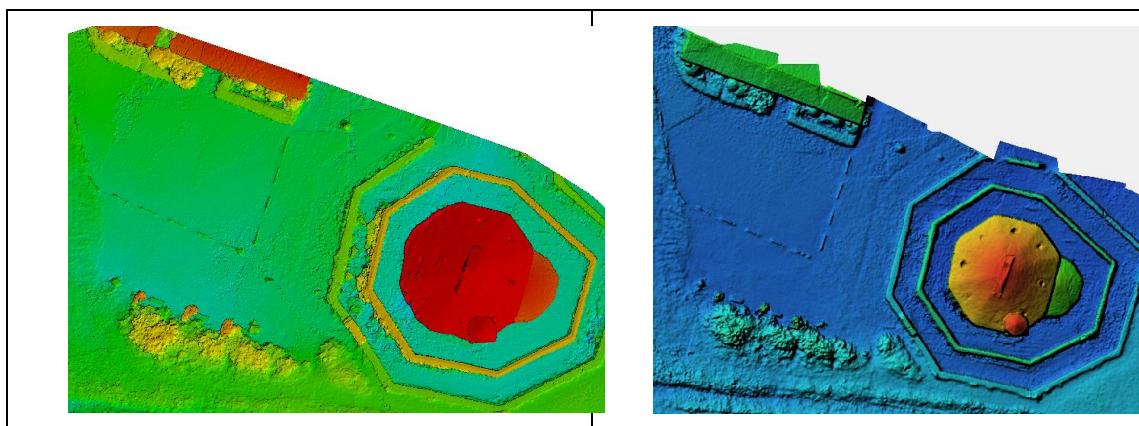


Figura 14: MDE Prueba E_V_1 arriba y prueba E_V_2 abajo Para Pix4D y PhotoScan

4.2.3 ORTOFOTOS

4.2.3.1 CALIDAD DE LA IMAGEN

Se ha realizado un análisis de calidad de la imagen conforme a los indicadores calculados en la herramienta de Python Tabla 14.

PARÁMETROS	OBJETIVO 2						
	PhotoScan			Pix4D			Correlator3D
	E_V_1	E_V_2	E_V_3	E_V_1	E_V_2	E_V_3	E_V_3
FILAS	8388	7841	7309	7312	7144	5113	8192
COLUMNAS	11601	10433	10088	10858	9560	7669	8192
PIXEL CON DATO	60723957	53302549	38711245	57955898	48085290	20095715	35282777
PORCENTAJE DATOS SOBRE TOTAL	62,377	65,128	52,477	72,965	70,372	51,216	52,550
NUMERO PÍXELES EN HUECOS	0	0	24533	8	2	0	1730221
PORCENTAJE PÍXELES EN HUECOS	0,000	0,000	0,063	0,000	0,000	0,000	4,903
PÍXELES PERÍMETRO	125524	116202	108035	111022	100575	76462	2565194
ÍNDICE COMPACIDA	0,0021	0,0021	0,0028	0,0019	0,0021	0,0038	0,0727
IDEAL CÍRCULO	0,0005	0,0005	0,0006	0,0005	0,0005	0,0008	0,0006
ÍNDICE COMPACIDAD NORMALIZADO	0,2208	0,2312	0,2042	0,2432	0,2445	0,2081	0,0082

Tabla 14: Indicadores calidad ortofoto Objetivo 2

El primer indicador analizado ha sido el número de píxeles creados por las herramientas en cada una de las pruebas. Se ha observado que PhotoScan ha generado un número de píxeles con dato mayor conforme se ha aumentado el número de imágenes introducidas en las pruebas. Lo mismo ha ocurrido con Pix4D. En comparativa de las dos herramientas, para un mismo número de imágenes, PhotoScan genera un mayor número de píxeles con dato.

Por otro lado, se ha analizado el porcentaje de píxeles nulos respecto al total con dato y a excepción de PhotoScan y Correlator3D en el caso E_V_3 el resto de ortofotos no han tenido píxeles sin dato.

Por último, se analiza el índice de compacidad normalizado. No se ha observado una tendencia clara a la mejoría de esta medida conforme se aumenta el número de imágenes en ninguna de las herramientas. Pix4D sí que ha generado imágenes más compactas en todas las

pruebas. Coincide que en la prueba E_V_2 Pix4D y PhotoScan han generado una imagen más compacta que en el resto.

En referencia al objetivo planteado, la introducción de vuelos a diferentes alturas no ha mejorado la calidad de las ortofotos en ninguna de las herramientas. Si se observa que PhotoScan para vuelos a diferentes alturas ha generado un mayor número de píxeles con dato, un mayor índice de compacidad.

4.2.3.2 CALIDAD GEORREFERENCIA

Para comparar la calidad de las ortofotos respecto a la realidad, se han medido el error medio cuadrático RMSE en planimetría de puntos de control respecto de sus homólogos en la ortofoto. Los resultados del análisis se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15: RMSE planimétrico en GSD para Objetivo 2

RMSE (GSD)		PUNTOS X, Y	LÍNEAS	POLIGONOS
Pix4D	E_V_1	62,685	52,840	394,000
	E_V_2	10,005	11,404	149,500
	E_V_3	5,315	7,553	55,700
	Pix4D_General	36,735	31,232	245,417
PhotoScan	E_V_1	8,330	11,578	160,100
	E_V_2	7,930	6,695	87,500
	E_V_3	15,696	9,000	116,500
	PhotoScan_General	11,235	9,307	124,981
Correlator3D	J_V_3	176,717	145,023	220,525

En primer lugar, analizando el RMSE respecto a mediciones puntuales, no se observa una clara tendencia a la disminución del error conforme aumenta el número de imágenes introducidas en el procesado a causa de la introducción de vuelos a diferente altura.

Por otro lado, el RMSE calculado para mediciones lineales, no se pueden extraer un análisis claro de comportamiento de las herramientas. En Pix4D los mejores resultados se observan en la prueba E_V_3, mientras que en PhotoScan son en la E_V_2.

En el análisis de áreas abarcadas por los puntos de control ocurre lo mismo que en el análisis lineal

En relación al objetivo del proyecto se observa que PhotoScan ha sido la herramienta que más se ha acercado a la realidad terreno cuando se han introducido vuelos a diferentes alturas. En general los errores que ha tenido PhotoScan han sido menores que los de Pix4D.

De nuevo en Correlator3D los errores se han disparado en todas las medidas.

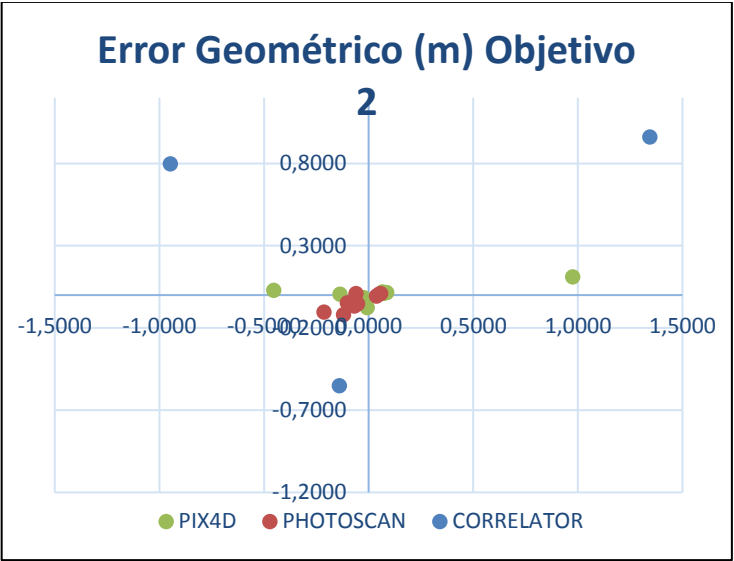


Figura 15: Error geométrico Objetivo 2

A continuación, se ha realizado un análisis visual se las ortofotos generadas en las diferentes pruebas para comprobar de manera visual los resultados (Figura 16,17,18).

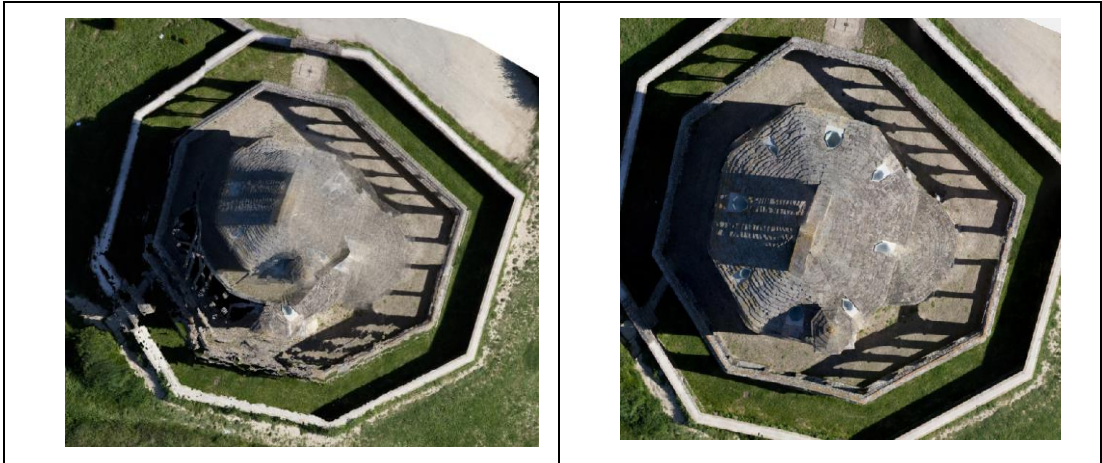


Figura 16: Ortofotos prueba E_V_1, Pix4d izquierda, PhotoScan derecha.

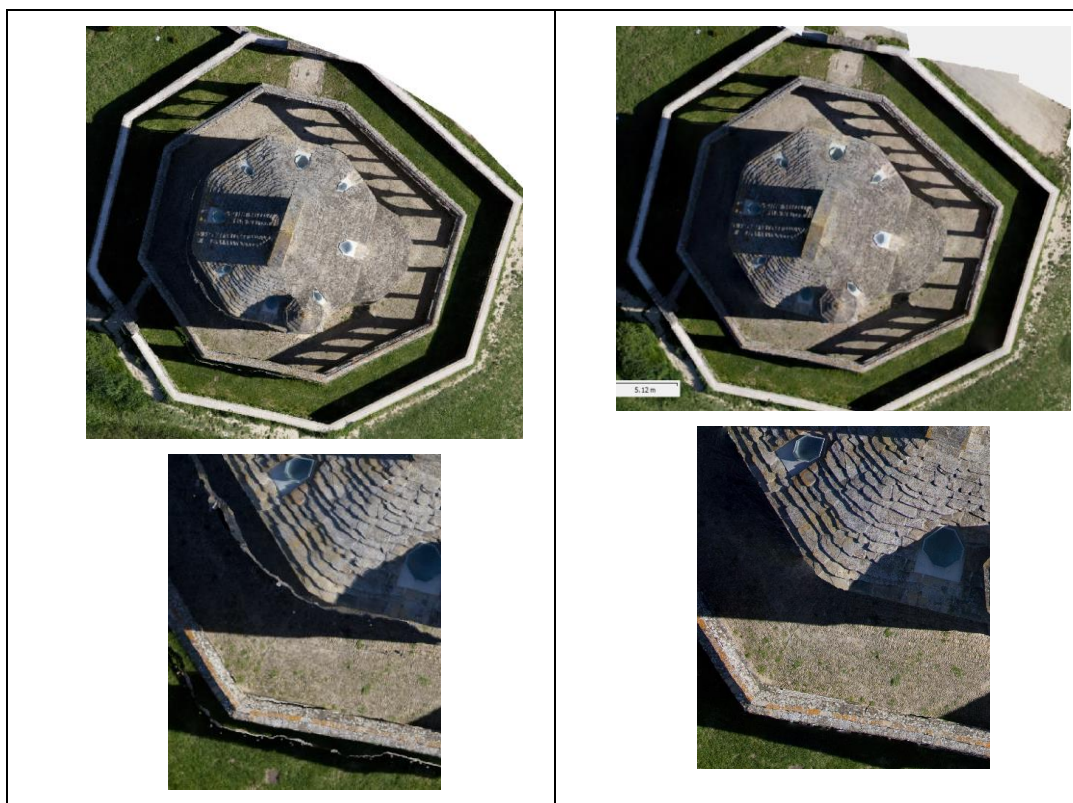


Figura 17: Ortofotos prueba E_V_2, Pix4d izquierda, PhotoScan derecha con detalles.

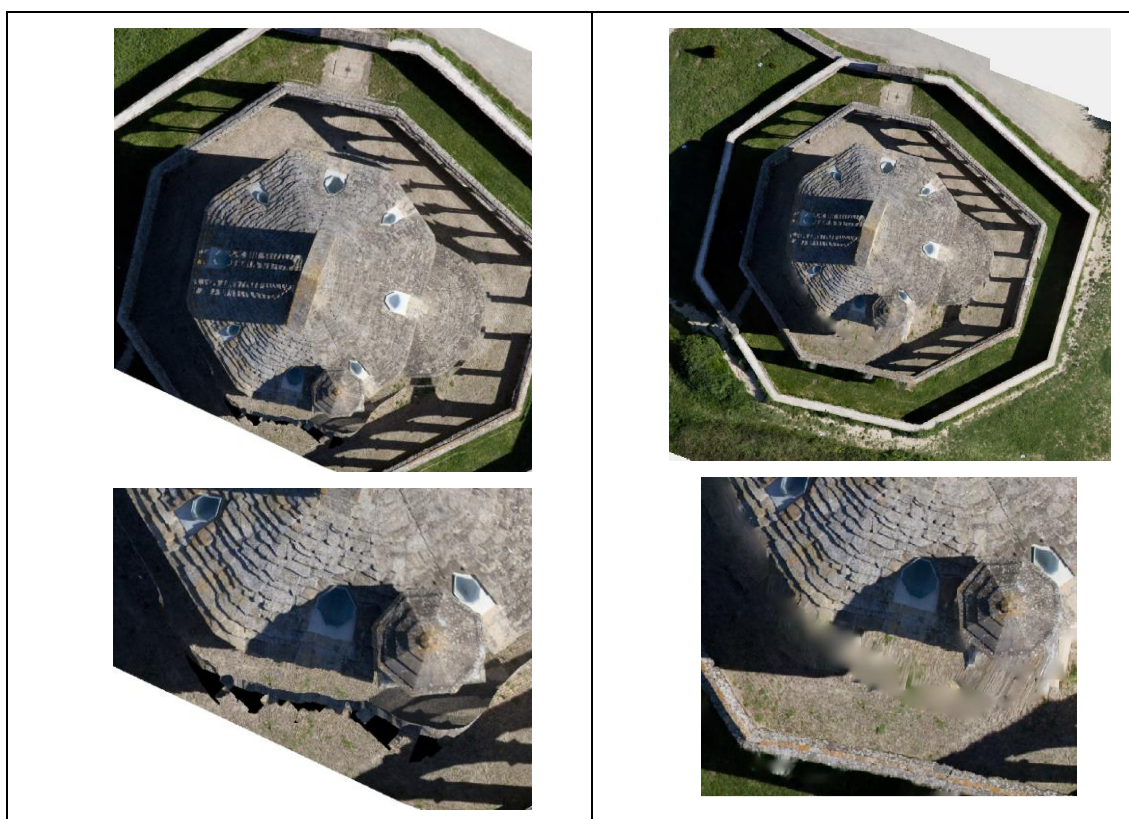


Figura 18: Ortofotos prueba E_V_3, Pix4d izquierda, PhotoScan derecha con detalles.

4.3 RESULTADOS OBJETIVO 3

En primer lugar, se ha observado que la alineación de las imágenes para Pix4D en la prueba CN_V_2 no ha sido adecuada (Figura 19).

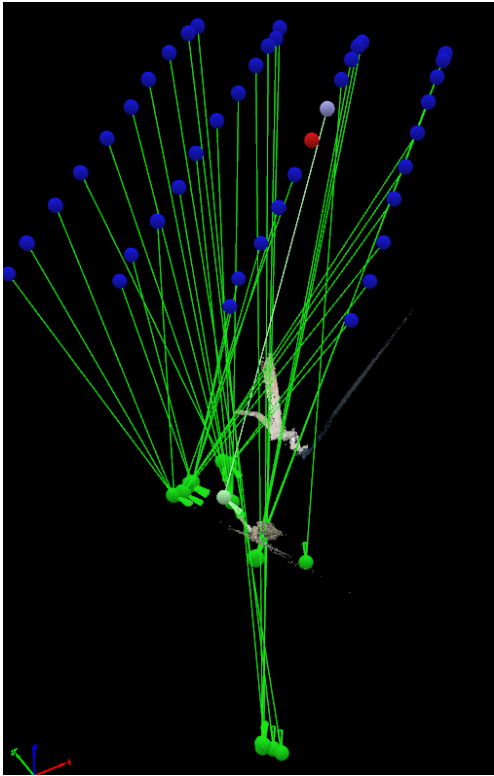


Figura 19: alineación Pix4D CN_V_2

4.3.1 NUBE DE PUNTOS

4.3.1.1 ANALISIS PRODUCTO RESULTANTE

Correlator3D en su proceso automático no genera nubes de puntos densa.

Por un lado, se ha anotado el número de puntos creados por las herramientas en cada prueba visible en la Tabla 16.

Tabla 16: Número de puntos de Nubes Objetivo 3

COMPARACION		
OBJETIVO 3		Número de puntos
	CN_V_1_PhotoScan	17155246
	CN_V_2_PhotoScan	15905703
	CN_V_2_Pix	1083742
	CN_V_2_Pix	-
	J_V_3_Corre	-

PhotoScan ha generado la nube con mayor número de puntos en la prueba CN_V_1 correspondiente a la introducción de 2 vuelos.

Los resultados de la nube de puntos de Pix4D no han sido del todo correctos, en la prueba CN_V_2 la herramienta no ha sido capaz de generar la nube.

Conforme al Objetivo específico, PhotoScan es capaz de tratar imágenes a con diferentes focales.

Se observa en la Figura 20 que cuando el número de imágenes es mayor, PhotoScan genera mayor número de puntos.

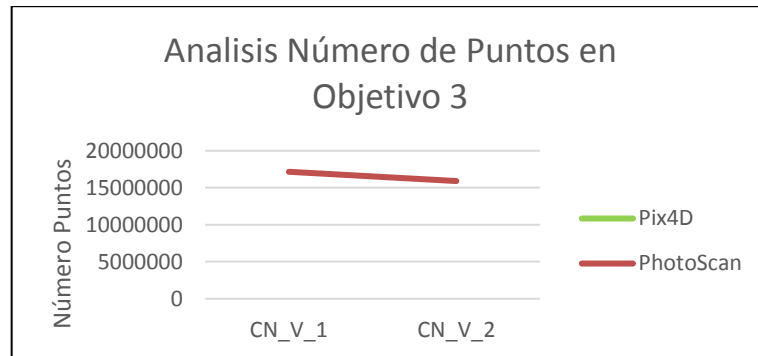


Figura 20: Número de puntos de la nube en Objetivo 3

Por otro lado, en la Tabla 17 se observa la distribución de la nube midiendo el número de celdas por Octree hasta el noveno nivel.

Tabla 17: Número de celdas por nivel de Octree en Objetivo 3

Número de celdas por Nivel de Octree Objetivo 3			
Octree Level	PhotoScan		Pix4D
	CN_V_1	CN_V_2	CN_V_1
1	8	8	4
2	21	21	4
3	55	57	7
4	197	176	14
5	724	685	26
6	2765	2603	83
7	11099	10088	257
8	44739	39635	870
9	119367	102442	2227

Se ha observado que en PhotoScan la prueba CN_V_1, genera un mayor número de celdas en el noveno nivel, por lo la nube tiene mayor uniformidad. En Pix4D en la prueba CN_V_1 ha generado una nube con muy pocas celdas en el noveno nivel (2227) por lo que se confirma que la herramienta ha creado una nube muy dispersa y de poca calidad.

Respecto al objetivo específico al aumentar el número de vuelos, aumenta el número de puntos de la nube.

4.3.1.2 COMPARACIÓN CON REALIDAD TERRENO

Para la comparación de las nubes de puntos se ha utilizado la nube de puntos Lidar del proyecto Innacto como realidad terreno. Esta comparación se hace mediante un test de Chi2.

Como resultado ha dado la desviación estándar y distancia media de la nube de referencia a la nube objeto de estudio observado en la Tabla 18.

Tabla 18: Estadísticas Nubes Objetivo 3

COMPARACION			
OBJETIVO 3		Distancia media	Desviación Estándar
	CN_V_1_PhotoScan	1,302	0,831
	CN_V_2_PhotoScan	1,037	0,513
	CN_V_2_Pix	4,611	2,252
	J_V_3_Corre	-	-

En cuanto a la desviación estándar, en PhotoScan ha generado las nubes con la menos desviación estándar en la prueba CN_V_2.

La distancia media para PhotoScan ha dado el menor valor en la prueba CN_V_2 (1.037). En Pix4D se observa los malos resultados obtenidos ya que se dispara la desviación.

Conforme al objetivo específico, la introducción de otro vuelo a diferente focal ha generado un crecimiento tanto de la desviación estándar como de la media, se puede observar en PhotoScan. Por otro lado, la introducción de esta cuarta pasada en la herramienta Pix4D hace que no sea capaz de procesar los datos.

4.3.2 MDE

Pix4D no ha sido capaz de generar productos a parte de la nube de puntos.

Respecto a los MDE se han medido los valores correspondientes a las localizaciones de los puntos de control y se ha calculado el RSME respecto a la coordenada Z de estos (Tabla 19).

Tabla 19: RMSE altimétrico en GSD para Objetivo 3

RMSE (GSD)		PUNTOS Z
PhotoScan	CN_V_1	21,981
	CN_V_2	42,014
	PhotoScan_General	27,376
Correlator3D	CN_V_2	2,524

En los modelos generados por PhotoScan, el de menor error se corresponde con la prueba CN_V_1 (21GSD).

Con la herramienta Correlator3D se ha generado solamente el modelo correspondiente a la prueba 2 debido a que las otras dos pruebas contenían imágenes sin datos de georreferenciación. Este modelo ha obtenido un error de 2.5 GSD.

Por tanto, se ha observado que Correlator3D en la prueba CN_V_2 ha generado MDE más cercanos a la realidad terreno que PhotoScan.

4.3.3 ORTOFOTOS

4.3.3.1 CALIDAD DE LA IMAGEN

Se ha realizado un análisis de calidad de la imagen conforme a los indicadores calculados en la herramienta de Python Tabla 20.

Tabla 20: Indicadores calidad ortofoto Objetivo 3

PARÁMETROS	OBJETIVO 3			
	PhotoScan	Pix4D		Correlator3D
	CN_V_1	CN_V_2	CN_V_1	CN_V_1
FILAS	12283	11965	42344	
COLUMNAS	13321	12859	44464	
PIXEL CON DATO	88362927	81488206		
PORCENTAJE DATOS SOBRE TOTAL	53,987	52,9461		
NUMERO PÍXELES EN HUECOS	0	158042		
PORCENTAJE PÍXELES EN HUECOS	0	0,1939		
PÍXELES PERÍMETRO	183356	223934		
ÍNDICE COMPACIDA	0,002075	0,0027		
IDEAL CÍRCULO	0,000377112	0,000392697		
ÍNDICE COMPACIDAD NORMALIZADO	0,181740528	0,145443323		

Del análisis realizado con Pix4D y con Correlator3D no ha sido posible extraer indicadores debido a problemas de memoria de la máquina.

El primer indicador analizado ha sido el número de píxeles creados por las PhotoScan en cada una de las pruebas. Se ha observado que ha generado un número de píxeles con dato mayor conforme se ha aumentado el número de imágenes introducidas en las pruebas.

Por otro lado, se ha analizado el porcentaje de píxeles nulos respecto al total con dato se observa que conforme al aumento el número de imágenes, el porcentaje de píxeles nulos dentro de la ortofoto disminuye.

Por último, se analiza el índice de compacidad normalizado. La herramienta ha generado una mayor compacidad conforme ha aumentado el número de imágenes.

En referencia al objetivo planteado, mediante el aumento de número de imágenes con diferente focal, la calidad de las ortofotos generadas ha sido mejor en PhotoScan debido a un cálculo de imágenes más compactas y a la menor creación de píxeles sin dato dentro de la ortofoto.

4.3.3.2 CALIDAD GEORREFERENCIA

Para comparar la calidad de las ortofotos respecto a la realidad, se han medido el error medio cuadrático RMSE en planimetría de puntos de control respecto de sus homólogos en la ortofoto. Los resultados del análisis se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21: RMSE planimétrico en GSD para Objetivo 3

RMSE (GSD)		PUNTOS X, Y	LÍNEAS	POLIGONOS
PhotoScan	CN_V_1	209,632	9,573	3171,660
	CN_V_2	95,679	103,368	225,730
	PhotoScan_General	133,041	73,405	2248,375
Correlator3D	CN_V_2	88,136	83,551	3475,829

En primer lugar, analizando el RMSE respecto a mediciones puntuales, no se observa la disminución del error conforme aumenta el número de imágenes introducidas en el procesado. La herramienta con menor RMSE calculado ha sido Correlator con 88 GSD de diferencia respecto a la realidad terreno.

Por otro lado, el RMSE calculado para mediciones lineales, se observa una mejoría conforme el número de fotos va en aumento. PhotoScan ha sido la herramienta que menor RMSE lineal ha creado 9.57 GSD de diferencia respecto a la realidad.

En el análisis de áreas abarcadas por los puntos de control, se ha observado el aumento del error conforme ha aumentado el número de imágenes a diferente focal en las pruebas.

Se ha finalizado el análisis teniendo en cuenta que Correlator3D ha generado un producto más preciso respecto a la realidad terreno que el generado por PhotoScan. Su resultado visual se muestra en la Figura 21.

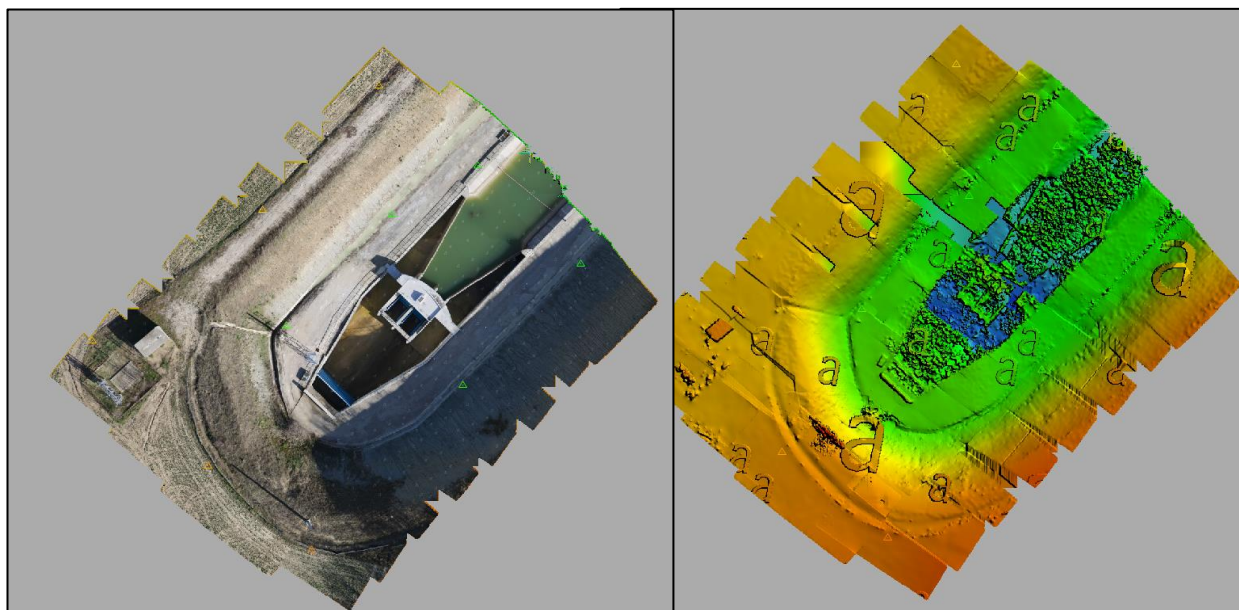


Figura 21: Resultados Correlator3D prueba CN_2

La dispersión geométrica de medidas respecto a los puntos de control se puede observar en la Figura 22. Se observa una mayor dispersión en PhotoScan que en Correlator3D

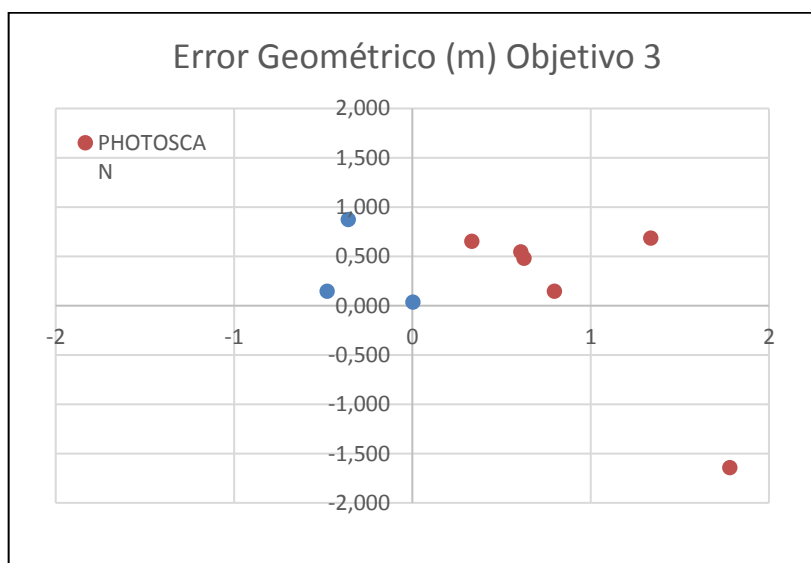


Figura 22: Error geométrico Objetivo 3

4.4 RESULTADOS OBJETIVO 4

4.4.1 NUBE DE PUNTOS

4.4.1.1 ANALISIS PRODUCTO RESULTANTE

Correlator3D en su proceso automático no genera nubes de puntos densa.

La prueba J_PA_5 no ha sido posible realizarla con ninguna aplicación.

Por un lado, se ha anotado el número de puntos creados por las herramientas en cada prueba observado en la Tabla 22.

Tabla 22: Número de puntos de Nubes Objetivo 4

COMPARACION		
		Número de Puntos
OBJETIVO 4	J_PA_1_PhotoScan	19887924
	J_PA_2_PhotoScan	19440405
	J_PA_3_PhotoScan	19874215
	J_PA_4_PhotoScan	19928924
	J_PA_6_PhotoScan	19845593
	J_PA_6_Rel_Apoyo	19433678
	J_PA_6_Rel_Sin	19847509
	J_PA_1_Pix	16943630
	J_PA_2_Pix	16896780
	J_PA_3_Pix	16863000
	J_PA_4_Pix	16832152
	J_PA_5_Pix	16868474
	J_PA_Rel_Apoyo	16905650
	J_PA_Rel_Sin	16859196
	J_PA_Corre	-

Se puede ver que, en todos los análisis, el número de puntos creado en la nube de puntos es similar, esto ha ocurrido tanto en Pix4D como en PhotoScan. Sí se observa que, para un análisis común, PhotoScan ha generado más puntos que pix4D.

Respecto al objetivo del análisis, se ha comprobado que el número de puntos de apoyo que se han introducido en las diferentes pruebas no afectas a la generación altera la densidad de la nube.

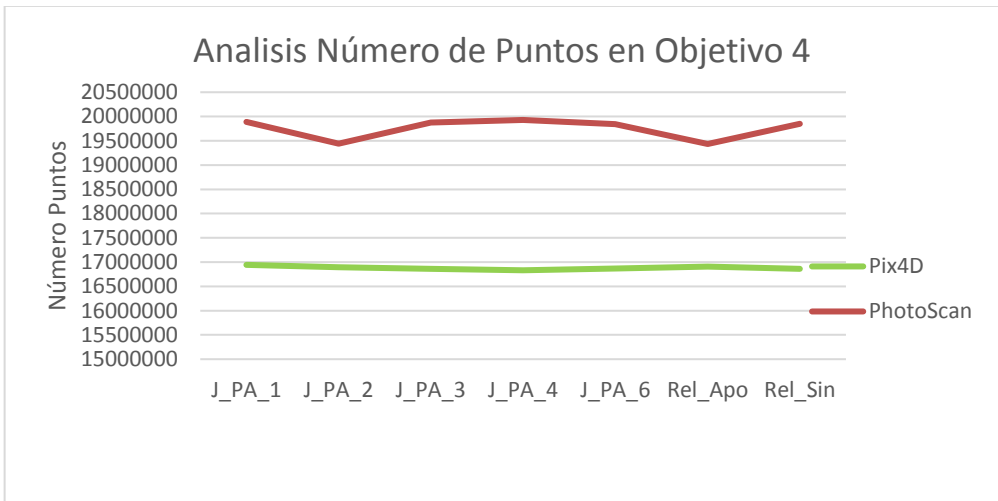


Figura 23: Número de puntos de la nube en Objetivo 4

Por otro lado, se ha estudiado la distribución de la nube midiendo el número de celdas por Octree hasta el noveno nivel visible en la Tabla 23.

Tabla 23: Número de celdas por nivel de Octree en Objetivo 3

Número de celdas por Nivel de Octree Objetivo 4														
Octree Level	PhotoScan							Pix4D						
	J_PA_18	J_PA_2	J_PA_3	J_PA_4	J_PA_6	Rel_Apo	Rel_Sin	J_PA_1	J_PA_2	J_PA_3	J_PA_4	J_PA_6	Rel_Apo	Rel_Sin
1	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
2	25	25	24	24	24	25	8	25	23	20	21	21	23	24
3	82	89	82	85	77	90	8	87	76	77	71	74	73	93
4	337	324	346	337	303	322	23	324	333	307	330	344	274	349
5	1388	1286	1313	1366	1153	1287	75	1351	1378	1234	1335	1392	1075	1387
6	5511	4971	5160	5241	1153	4932	223	5441	5396	4271	5215	5387	4226	5466
7	20935	19973	20579	20475	4491	19886	1053	21252	21228	14452	20716	20971	17295	22303
8	83844	82185	83319	81356	69292	82044	4099	86849	86597	46146	85365	85846	70169	89643
9	221602	228674	231227	215078	183553	228556	16036	238169	239333	89084	230586	236764	193984	365980
10	567368	607958	613354	550510	471310	606589	63006	621300	624448	994420	601109	616057	507936	145023

En primer lugar, se observa que en J_PA_3, donde el número de puntos de apoyo es las mayores, ambas herramientas generan un mayor número de celdas en el décimo nivel. Por lo que se concluye que la introducción de un mayor número de puntos de apoyo genera nubes de puntos más uniformes.

Si se comparan las nubes generadas por Pix4D, en todos los análisis con las mismas condiciones ha generado nubes más uniformes.

4.4.1.2 COMPARACIÓN CON REALIDAD TERRENO

Para la comparación de las nubes de puntos se ha utilizado la nube de puntos Lidar del proyecto Innpacto como realidad terreno. Esta comparación se hace mediante un test de Chi2.

Como resultado ha dado la desviación estándar y distancia media de la nube de referencia a la nube objeto de estudio de la Tabla 24.

Tabla 24: Estadísticas Nubes Objetivo 4

COMPARACION			
		Distancia media	Desviación Estándar
OBJETIVO 4	J_PA_1_PhotoScan	1,282	3,095
	J_PA_2_PhotoScan	2,552	2,955
	J_PA_3_PhotoScan	2,620	3,314
	J_PA_4_PhotoScan	1,455	3,132
	J_PA_6_PhotoScan	6,022	3,202
	J_PA_6_Rel_Apoyo	2,549	2,944
	J_PA_6_Rel_Sin		
	J_PA_1_Pix	0,888	2,353
	J_PA_2_Pix	0,912	2,377
	J_PA_3_Pix	0,868	2,238
	J_PA_4_Pix	0,811	1,962
	J_PA_5_Pix	0,857	1,995
	J_PA_Rel_Apoyo	5,898	2,548
	J_PA_Rel_Sin		
	J_PA_Corre	-	

Los modelos relativos obtenidos no se analizan ya que no están referenciados.

Tanto en Pix4D como en PhotoScan, no se observa una tendencia clara a la disminución de la desviación conforme a la variación de puntos de apoyo introducidos en los modelos.

Esto mismo ocurre con la distancia media. No existe una tendencia clara.

Se puede concluir que, para un análisis común, Pix4D genera menores desviaciones y distancias medias que PhotoScan.

Por este último motivo además de una mayor uniformidad en las nubes y en base al objetivo específico planteado, Pix4D ha sido la herramienta que mejor se ha comportado.

4.4.2 MDE

Correlator3D no ha sido capaz de generar estos productos.

Respecto a los MDE se han medido los valores correspondientes a las localizaciones de los puntos de control y se ha calculado el RSME respecto a la coordenada Z de estos (Tabla 25).

Tabla 25: RMSE altimétrico en GSD para Objetivo 4

RMSE (GSD)		PUNTOS Z
Pix4D	J_PA_1	4,176
	J_PA_2	9,373
	J_PA_3	9,888
	J_PA_4	9,382
	Rel_Apo	701,800
	Pix4D_General	313,947
PhotoScan	J_PA_1	3,275
	J_PA_2	25,155
	J_PA_3	26,930
	J_PA_4	5,510
	J_PA_6	217,710
	Rel_Apo	32,602
	PhotoScan_General	91,159

Se ha analizado el menor valor de 3.27 GSD mediante PhotoScan para la prueba J_PA_1, mientras que el menor para Pix4D ha sido 4.17 GSD en la misma prueba.

No existe una tendencia clara para seleccionar el mejor comportamiento de ninguna de las herramientas.

La introducción de un mayor número de puntos de apoyo no mejora los MDE en creados en ninguna de las pruebas, con la utilización de 5 puntos de apoyo bien distribuidos se han conseguido los mejores resultados en ambas herramientas.

4.4.3 ORTOFOTOS

4.4.3.1 CALIDAD DE LA IMAGEN

Se ha realizado un análisis de calidad de la imagen conforme a los indicadores calculados en la herramienta de Python Tabla 26 y Tabla 27.

Tabla 26: Indicadores calidad ortofoto Objetivo 4 para PhotoScan

PARÁMETROS	OBJETIVO 4						
	PhotoScan						
	J_PA_1	J_PA_2	J_PA_3	J_PA_4	J_PA_6	Rel_Apo	Rel_Sin
FILAS	12783	11888	12157	12585	11596	ND	2819
COLUMNAS	13731	13667	13730	13481	12430	ND	1985
PIXEL CON DATO	133676158	11578046	118647332	12912972	110026899	ND	4086767
PORCENTAJE DATOS SOBRE TOTAL	76,135	71,238	71,06	76,088	76,308	ND	72,908
NUMERO PÍXELES EN HUECOS	116502	1140951	1768190	217044	103395	ND	40257
PORCENTAJE PÍXELES EN HUECOS	0,08715	0,98544	1,4902	0,168	0,09397	ND	0,9850
PÍXELES PERÍMETRO	156749	2120003	233011	15755	147099	ND	34252
INDICE COMPACIDA	0,0011	0,0018	0,0019	0,0012	0,00133	ND	0,0083
IDEAL CIRCULO	0,00030	0,00104	0,00032	0,0009	0,00033	ND	0,0017
INDICE COMPACIDAD NORMALIZADO	0,27873	0,578781	0,17128	0,8085	0,2529	ND	0,2112

Tabla 27: Indicadores calidad ortofoto Objetivo 4 para Pix4D

PARÁMETROS	OBJETIVO 4					
	Pix4D					
	J_PA_1	J_PA_2	J_PA_3	J_PA_4	Rel_Apo	Rel_Sin
FILAS	12404	12419	12415	12229	ND	ND
COLUMNAS	11930	11947	11894	11747	ND	ND
PIXEL CON DATO	1,19E+08	1,2E+08	1,19E+08	1,16E+08	ND	ND
PORCENTAJE DATOS SOBRE TOTAL	80,5534	80,5747	80,7664	80,77337	ND	ND
NUMERO PÍXELES EN HUECOS	0	0	0	0	ND	ND
PORCENTAJE PÍXELES EN HUECOS	0	0	0	0	ND	ND
PÍXELES PERÍMETRO	141765	141938	140802	139317	ND	ND
INDICE COMPACIDA	0,001188	0,001186	0,00118	0,0012	ND	ND
IDEAL CIRCULO	0,000325	0,000324	0,000325	0,000329	ND	ND
INDICE COMPACIDAD NORMALIZADO	0,273259	0,273323	0,275042	0,274194	ND	ND

De la prueba realizada con Correlator3D no ha sido posible extraer indicadores debido a problemas de memoria de la máquina.

El primer indicador analizado ha sido el número de píxeles creados por las herramientas en cada una de las pruebas. Se ha observa que PhotoScan ha generado un número de píxeles con dato mayor para J_PA_1 donde se han utilizado cinco puntos de apoyo distribuidas. Respecto a los resultados de Pix4D no se ha observado ninguna tendencia por lo tanto no se ha extraído una interpretación clara. En comparativa de las dos herramientas, para un mismo número de imágenes, PhotoScan genera un mayor número de píxeles con dato.

Por otro lado, se ha analizado el porcentaje de píxeles nulos respecto al total con dato, Pix4D no genera píxeles nulos en ningún análisis mientras que PhotoScan ha generado el mayor porcentaje de huecos cuando el número de puntos de apoyo ha sido de quince. En este aspecto para una prueba común, Pix4D genera un menor porcentaje de píxeles nulos.

Por último, se analiza el índice de compacidad normalizado. No se ha observado una tendencia clara a la mejoría de esta mediad conforme se aumenta el número de puntos de apoyo para Pix4D ha sido común en todos los análisis, PhotoScan ha generado el mayor índice en la prueba con 10 puntos de apoyo. Para un mismo conjunto de datos no se extraen conclusiones acerca de que herramienta lo hace mejor debido a que depende del conjunto una u otra mejora.

En referencia al objetivo planteado, mediante el aumento de puntos de apoyo la calidad de las ortofotos generadas no se ha podido extraer unos resultados claros.

4.4.3.2 CALIDAD GEORREFERENCIA

Para comparar la calidad de las ortofotos respecto a la realidad, se han medido el error medio cuadrático RMSE en planimetría de puntos de control respecto de sus homólogos en la ortofoto. Los resultados del análisis se muestran en la Tabla 28.

Tabla 28: RMSE planimétrico en GSD para Objetivo 4

RMSE (GSD)		PUNTOS X, Y	LÍNEAS	POLIGONOS
Pix4D	J_PA_1	1,228	0,944	22,700
	J_PA_2	3,816	2,514	28,420
	J_PA_3	23,469	4,220	61,820
	J_PA_4	39,475	67,475	1713,330
	Rel_Apo	321,174	446,884	11150,560
	Pix4D_General	145,106	202,130	5045,307
PhotoScan	J_PA_1	11,207	2,994	85,470
	J_PA_2	277,417	205,064	7974,220
	J_PA_3	325,442	162,144	6080,230
	J_PA_4	70,315	80,890	2147,440
	J_PA_6	308,314	424,856	10653,910
	Rel_Apo	341,890	205,092	7982,690
	PhotoScan_General	258,163	226,007	6860,580

Correlator3D no ha sido capaz de generar estos productos.

En primer lugar, analizando el RMSE respecto a mediciones puntuales, no se observa una clara tendencia a la disminución del error conforme a la variación de puntos de apoyo en el procesado. Los mejores resultados para ambas herramientas se han producido en la prueba J_PA_1.

Por otro lado, el RMSE calculado para mediciones lineales ocurre lo mismo que con las anteriores.

En el análisis de áreas abarcadas por los puntos de control ha ocurrido al igual que anteriormente.

En la comparativa de herramientas, Pix4D ha generado siempre menores errores en un mismo modelo en común.

En relación al objetivo del proyecto se observa que PhotoScan ha sido la herramienta que más se ha acercado a la realidad terreno conforme se ha aumentado el número de imágenes.

Por tanto, se analiza que la introducción de más de 5 puntos de apoyo bien distribuidos no mejora los resultados.

La dispersión geométrica de medidas respecto a los puntos de control que se observa en la Figura 24, confirma lo anteriormente mencionado, Pix4D ha generado puntos menos dispersos.

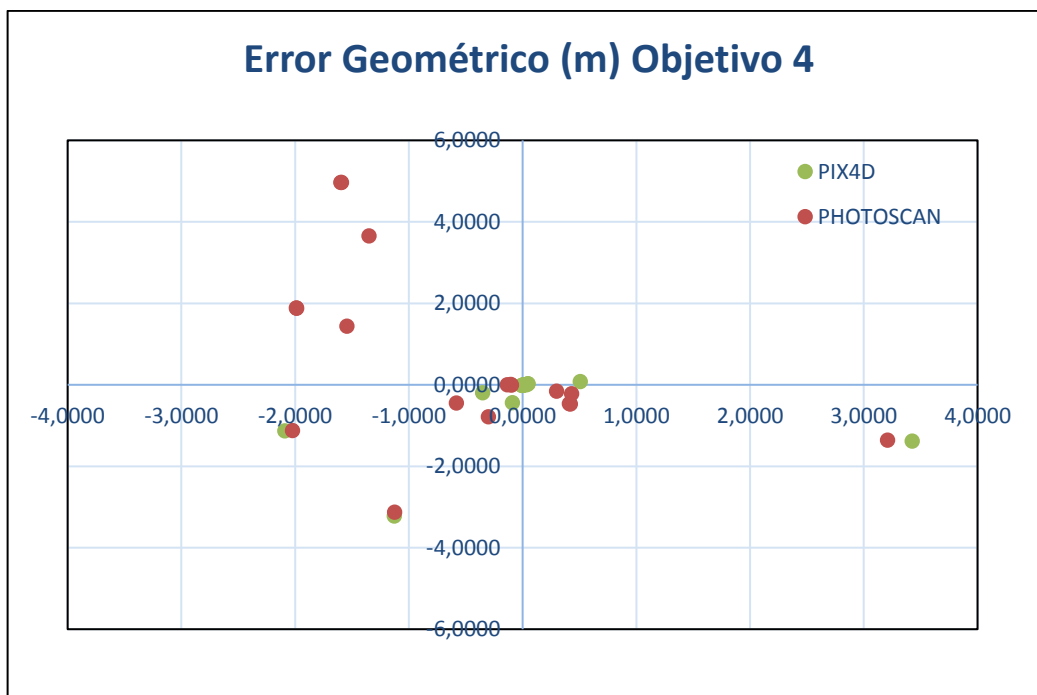


Figura 24: Dispersión geométrica Objetivo 4

4.5 RESULTADOS OBJETIVO 5

4.5.1 NUBE DE PUNTOS

4.5.1.1 ANALISIS PRODUCTO RESULTANTE

Correlator3D en su proceso automático no genera nubes de puntos densa.

Por un lado, se ha anotado el número de puntos creados por las herramientas en cada prueba visible en la Tabla 29.

Tabla 29: Número de puntos de Nubes Objetivo 5

COMPARACION		
		Número de Puntos
OBJETIVO 5	Y_PA_1_PhotoScan	10516379
	Y_PA_2_PhotoScan	10486691
	Y_PA_3_PhotoScan	10498132
	Y_PA_1_Pix	6446213
	Y_PA_2_Pix	6529668
	Y_PA_3_Pix	6573138
	Correlator3D	-

Se observa que tanto en PhotoScan como en Pix4D generan un número de puntos similar en los diferentes análisis. No existe una tendencia clara al aumento como puede observarse en la Figura 25.

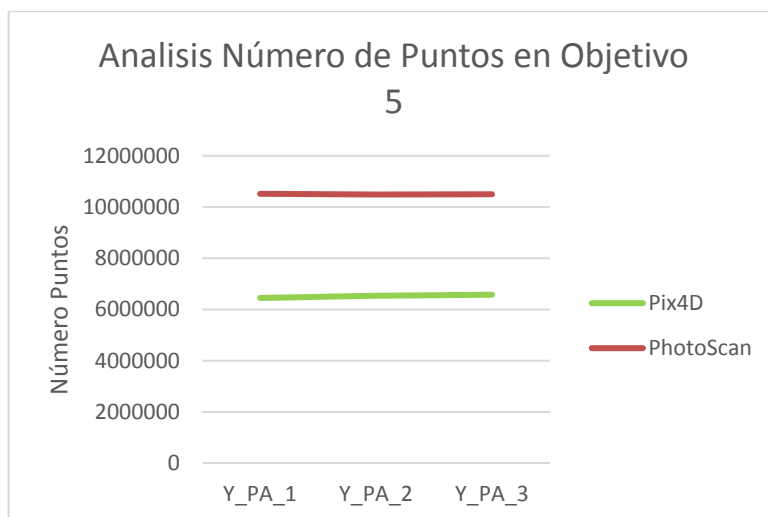


Figura 25: Número de puntos de la nube en Objetivo 3

En todos los casos estudiados, para un conjunto de datos común, PhotoScan ha generado más puntos que Pix4D.

Por tanto, en base al objetivo específico se concluye que el aumento de apoyo en las pruebas no afecta a la generación de puntos en las nubes.

Por otro lado, se ha estudiado la distribución de la nube midiendo el número de celdas por Octree hasta el noveno nivel observado en la Tabla 30.

Tabla 30: Número de celdas por nivel de Octree en Objetivo 5

Número de celdas por Nivel de Octree Objetivo 5						
Octree Level	PhotoScan			Pix4D		
	Y_PA_1	Y_PA_2	Y_PA_3	Y_PA_1	Y_PA_2	Y_PA_3
1	8	8	8	8	8	8
2	20	17	19	17	16	16
3	47	49	47	46	43	42
4	173	169	170	181	158	177
5	662	640	644	655	658	666
6	2355	2303	2317	2463	2596	2597
7	8806	8615	8708	10201	10553	10673
8	34249	35150	34077	43656	44986	45178
9	91658	93012	92560	130949	135078	136033
10	238415	239884	240468	369395	382545	385152

Se ha observado que en PhotoScan la prueba Y_PA_3, genera un mayor número de celdas en el décimo nivel, por lo la nube tiene mayor uniformidad. En Pix4D en la prueba Y_PA_3 al igual que en PhotoScan, es la nube que más celdas ha generado.

Con esto, se ha observado que la introducción de más puntos de apoyo, hasta 15 en el caso de la prueba Y_PA_3 genera nubes más uniformes en ambas herramientas.

En todos los casos de estudio, Pix4D en comparativa con PhotoScan ha generado nubes más uniformes.

4.5.1.2 COMPARACIÓN CON REALIDAD TERRENO

Para la comparación de las nubes de puntos se ha utilizado la nube de puntos Lidar del proyecto Innacto como realidad terrena. Esta comparación se hace mediante un test de Chi2.

Como resultado ha dado la desviación estándar y distancia media de la nube de referencia a la nube objeto de estudio visible en la Tabla 31.

Tabla 31: Estadísticas Nubes Objetivo 5

COMPARACION			
		Distancia media	Desviación Estándar
OBJETIVO 5	Y_PA_1_PhotoScan	0,637	0,558
	Y_PA_2_PhotoScan	0,661	0,514
	Y_PA_3_PhotoScan	0,666	0,543
	Y_PA_1_Pix	3,476	4,209
	Y_PA_2_Pix	3,490	4,012
	Y_PA_3_Pix	3,373	3,838
	Correlator3D	-	-

En cuanto a la desviación estándar, no existe una tendencia clara a la mejora conforme se aumenta el número de puntos en ninguna de las dos herramientas.

Lo mismo ocurre con la distancia media, no es posible localizar una tendencia.

Se observa que PhotoScan genera nubes de puntos más precisas que Pix4D en todos los casos de estudio, siendo menor tanto la desviación estándar como la distancia media.

Por tanto, conforme al objetivo específico, al igual que ha ocurrido en el Objetivo 4, se confirma que la introducción de puntos de apoyo no afecta a la calidad de las nubes de puntos.

4.5.2 MDE

Respecto a los MDE se han medido los valores correspondientes a las localizaciones de los puntos de control y se ha calculado el RSME respecto a la coordenada Z de estos de la Tabla 32.

Tabla 32: RMSE altimétrico en GSD para Objetivo 5

RMSE (GSD)		PUNTOS Z
Pix4D	Y_PA_1	28,129
	Y_PA_2	17,369
	Y_PA_3	7,013
	Pix4D_General	23,896
PhotoScan	Y_PA_1	3,860
	Y_PA_2	3,327
	Y_PA_3	2,559
	PhotoScan_General	4,032
Correlator3D	Y_PA_3	43,540

En las pruebas que se han realizado sobre el Yugo, se observa que los MDE con un menor RSME generados tanto para Pix4D como para PhotoScan han sido los correspondientes a la tercera prueba Y_PA_3 la cual ha sido procesada con un mayor número de puntos de apoyo.

Para los mismos casos de estudio, PhotoScan ha generado un menor RMSE que Pix4D.

En el caso de Correlator3D se ha obtenido un error de 43.54GSD.

Conforme al objetivo específico, el aumento de puntos de apoyo genera una disminución del RMSE en altimetría en ambas herramientas, siendo menor en PhotoScan.

4.5.3 ORTOFOTOS

4.5.3.1 CALIDAD DE LA IMAGEN

A continuación, se ha realizado un análisis de calidad de la imagen conforme a los indicadores calculados en la herramienta de Python Tabla 33.

Tabla 33: Indicadores calidad ortofoto Objetivo 5

PARÁMETROS	OBJETIVO 5						
	PhotoScan			Pix4D			Correlator3D
	Y_PA_1	Y_PA_2	Y_PA_3	Y_PA_1	Y_PA_2	Y_PA_3	Y_PA_3
FILAS	9890	10040	10042	9031	9135	15030	6336
COLUMNAS	10413	10437	1045	8023	8380	16652	7296
PIXEL CON DATO	5393671	55335435	55350752	46172552	49372414	135433612	26932080
PORCENTAJE DATOS SOBRE TOTAL	52,796	52,787	52,902	630,690	64,466	54,099	58,226
NUMERO PÍXELES EN HUECOS	0	55114	79948	0	1	70	271907
PORCENTAJE PÍXELES EN HUECOS	0,000	0,100	0,144	0,000	2,025	5,169	1,010

PIXELES PERÍMETRO	131231	139514	139586	102226	106690	202496	700594
INDICE COMPACIDA	0,0024	0,0025	0,0025	0,0022	0,0021	0,0015	0,0260
IDEAL CIRCULO	0,0015	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0003	0,0007
INDICE COMPACIDAD NORMALIZADO	0,6328	0,1906	0,1890	0,2371	0,2402	0,2038	0,0263

El primer indicador analizado ha sido el número de píxeles creados por las herramientas en cada una de las pruebas. En PhotoScan no se observa una tendencia clara del crecimiento de píxeles con dato conforme se aumenta el número de puntos de apoyo. En Pix4D si se observa este crecimiento. En comparativa de las dos herramientas, para un mismo número de puntos de apoyo, en dos de los tres casos de estudio, PhotoScan ha generado un mayor número de píxeles con dato.

Por otro lado, se ha analizado el porcentaje de píxeles nulos respecto al total con dato y en ambas herramientas se observa que conforme al aumento el número de puntos de apoyo, el porcentaje de píxeles nulos dentro de la ortofoto aumenta. En este aspecto para una prueba común, Pix4D genera un menor porcentaje de píxeles nulos.

Por último, se analiza el índice de compacidad normalizado. No se ha observado una tendencia clara a la mejoría de esta medida en Pix4D conforme se aumenta el número de puntos de apoyo, en PhotoScan se ha visto que el aumento de estos puntos genera una menor compacidad de la ortofoto.

Correlator3D ha obtenido peores resultados en todas las medidas estudiadas.

En referencia al objetivo planteado, mediante el aumento de número de puntos de apoyo la calidad de las ortofotos generadas ha sido mejor en Pix4D debido a un cálculo de imágenes más compactas y a la creación de un menor porcentaje de píxeles sin dato dentro de la ortofoto.

4.5.3.2 CALIDAD GEORREFERENCIA

Para comparar la calidad de las ortofotos respecto a la realidad, se han medido el error medio cuadrático RMSE en planimetría de puntos de control respecto de sus homólogos en la ortofoto. Los resultados del análisis se muestran en la Tabla 34.

Tabla 34: RMSE planimétrico en GSD para Objetivo 5

RMSE (GSD)		PUNTOS X, Y	LÍNEAS	POLIGONOS
Pix4D	Y_PA_1	10,781	8,200	593,160
	Y_PA_2	7,256	5,702	428,110
	Y_PA_3	4,102	3,851	384,900
	Pix4D_General	9,636	4,787	477,227
PhotoScan	Y_PA_1	16,714	14,922	732,490
	Y_PA_2	16,062	24,310	990,710
	Y_PA_3	13,021	21,449	935,260
	PhotoScan_General	18,800	15,960	893,073
Correlator3D	Y_PA_3	2150,790	3660,372	97565,166

En primer lugar, analizando el RMSE respecto a mediciones puntuales, se observa una clara tendencia a la disminución del error conforme aumenta el número de puntos de apoyo introducidas en el procesado. La herramienta con menor RMSE calculado ha sido Pix4D con 1 GSD de diferencia respecto a la realidad terreno.

Por otro lado, el RMSE calculado para mediciones lineales, de nuevo se observa una mejoría conforme el número de puntos va en aumento para Pix4D, no ocurre lo mismo con PhotoScan que no sigue una tendencia clara. Pix4D ha sido la herramienta que menor RMSE lineal ha creado 4 GSD de diferencia respecto a la realidad.

En el análisis de áreas abarcadas por los puntos de control, ha ocurrido igual que en el análisis lineal. Pix4D ha sido la herramienta que menor RMSE ha generado con 384 GSD.

En relación al objetivo del proyecto se observa que Pix4D ha sido la herramienta que más se ha acercado a la realidad terreno conforme se ha aumentado el número de puntos de apoyo.

La dispersión geométrica de medidas respecto a los puntos de control se puede observar en la Figura 26. Confirma lo analizado anteriormente, mejores resultados para Pix4D respecto al resto de herramientas.

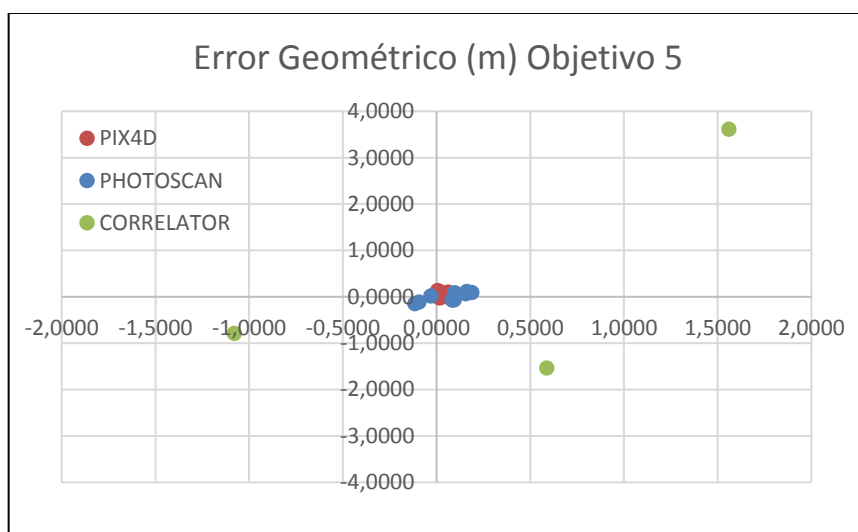


Figura 26: Error geométrico Objetivo 5

Se muestra en la Figura 27 los resultados de la ortofoto para la primera prueba Y_PA_1, se ve los errores generados por Pix4D en las zonas de tejados.



Figura 27: Ortofotos generadas en prueba Y_PA_1

4.6 RESULTADOS OBJETIVO 6

En primer lugar, se ha observado que la alineación de la herramienta Pix4D para la segunda prueba ME_2 no ha sido correcta (Figura 28). Ha saltado un mensaje de error de incapacidad de procesado.

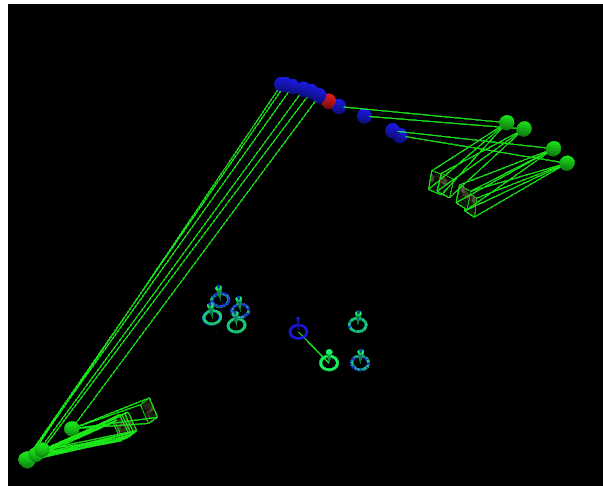


Figura 28: Incorrecta alineación Pix4D Objetivo 6

4.6.1 NUBE DE PUNTOS

4.6.1.1 ANALISIS PRODUCTO RESULTANTE

Correlator3D en su proceso automático no genera nubes de puntos densa. Pix4D, no ha sido capaz de correlar la segunda prueba.

Por un lado, se ha anotado el número de puntos creados por las herramientas en cada prueba visible en la Tabla 35.

Tabla 35: Número de puntos de Nubes Objetivo 6

COMPARACION		
		Número de Puntos
OBJETIVO 6	ME_1_PhotoScan	4821047
	ME_2_PhotoScan	7036525
	ME_1_Pix	1306646
	Correlator	-

PhotoScan ha generado la nube con mayor número de puntos en la prueba ME_2, que ha tenido un menor número de imágenes. En comparativa con Pix4D ha generado una nube con un mayor número de puntos.

Se ha observado que en aquellas zonas con imágenes homogéneas la herramienta Pix4D no genera buenos resultados.

Por otro lado, se ha estudiado la distribución de la nube midiendo el número de celdas por Octree hasta el noveno nivel expuesto en la Tabla 36.

Tabla 36: Número de celdas por nivel de Octree en Objetivo 6

Número de celdas por Nivel de Octree Objetivo 6		
Octree Level	PhotoScan	Pix4D

	ME_1	ME_2	ME_1
1	8	6	7
2	36	14	7
3	127	47	26
4	421	113	96
5	1719	235	318
6	7216	1074	1108
7	24455	3978	4234
8	63646	10717	16966
9	172229	30818	48867
10	409102	93592	134346

Se ha observado que en PhotoScan la prueba ME_1, genera un mayor número de celdas en el décimo nivel, por lo la nube tiene mayor uniformidad.

4.6.1.2 COMPARACIÓN CON REALIDAD TERRENO

Para la comparación de las nubes de puntos se ha utilizado la nube de puntos Lidar del proyecto Innpacto como realidad terreno. Esta comparación se hace mediante un test de Chi2.

Como resultado ha dado la desviación estándar y distancia media de la nube de referencia a la nube objeto de estudio visible en la Tabla 37.

Tabla 37: Número de celdas por nivel de Octree en Objetivo 6

COMPARACION			
		Distancia media	Desviación Estándar
OBJETIVO 6	ME_1_PhotoScan	18,137	8,398
	ME_2_PhotoScan	44,990	3,685
	ME_1_Pix	48,179	8,233
	Correlator	-	-

En cuanto a la desviación estándar, en PhotoScan la nube con menor valor ha sido la generada en la prueba ME_2 (3.6852). Para un mismo caso de estudio, PhotoScan genera una menor desviación estándar.

Ha ocurrido lo mismo para la distancia media, PhotoScan ha dado menor valor que pix4D en la prueba ME_1.

Se observa que la introducción de imágenes de muy homogéneas, con mucha vegetación no afecta positivamente a la creación de nubes de puntos para las herramientas.

4.6.2 MDE

En primer lugar, comentar que no se ha podido generar mediante la herramienta QGis el análisis respecto a los puntos de control debido a la ausencia de tiempo.

Se ha realizado un análisis visual de las ortofotos y MDE para cada herramienta y para cada prueba.

En la prueba ME_1 PhotoScan los productos generados se observan en la Figura 29 tanto la ortofoto como el MDE tienen huecos blancos en su interior. Cargada la ortofoto en QGis se ha

observado la poca resolución que genera esta en elementos lineales como muros o tejados, se ha observado un efecto sierra.

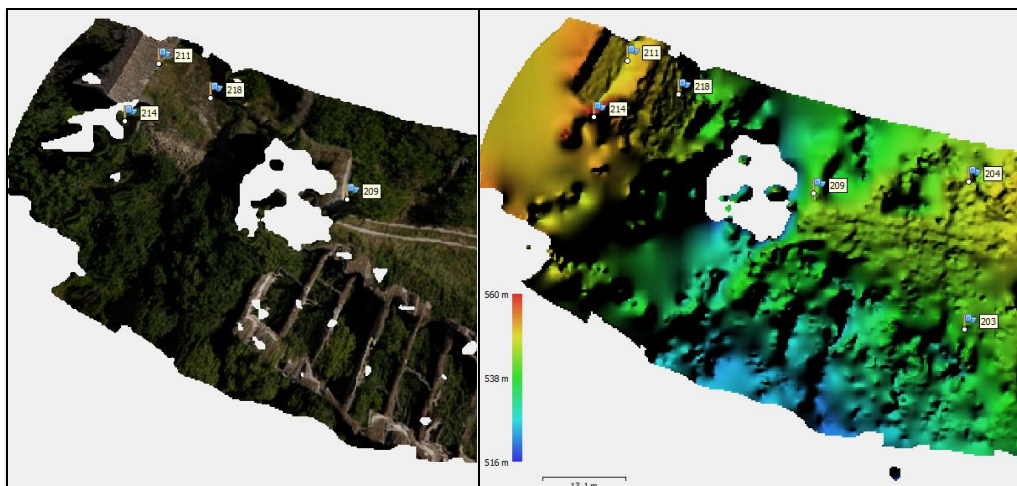


Figura 29: Ortofoto y MDE para prueba ME_1 con PhotoScan

Para el mismo caso de estudio, la herramienta Pix4D ha generado los productos que se han mostrado en la Figura 30.

En el MDE se ha visto que ha generado muchos errores.

Respecto a la ortofoto, el área creada ha sido menor que en el caso de PhotoScan, pero de una mejor calidad.

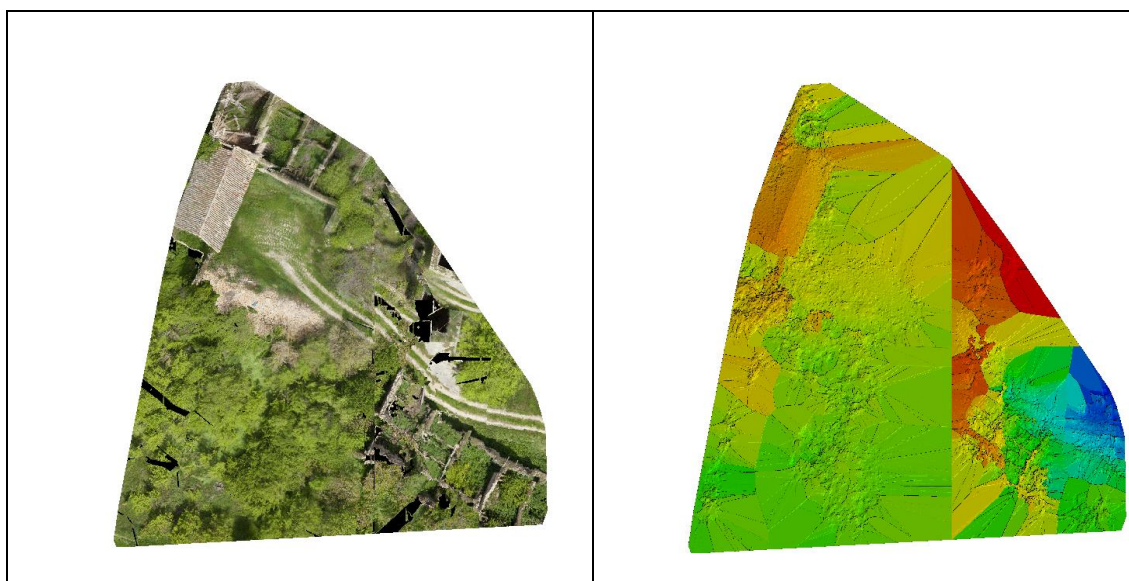


Figura 30: Ortofoto y MDE para prueba ME_1 con Pix4D

El resultado generado para la primera prueba en Correlator3D se observa en la Figura 31.

Respecto a la ortofoto, ha sido la herramienta que mejor calidad de producto ha conseguido.

El MDE generado es uniforme, es decir ha generado un producto sin crear huecos blancos en su interior.

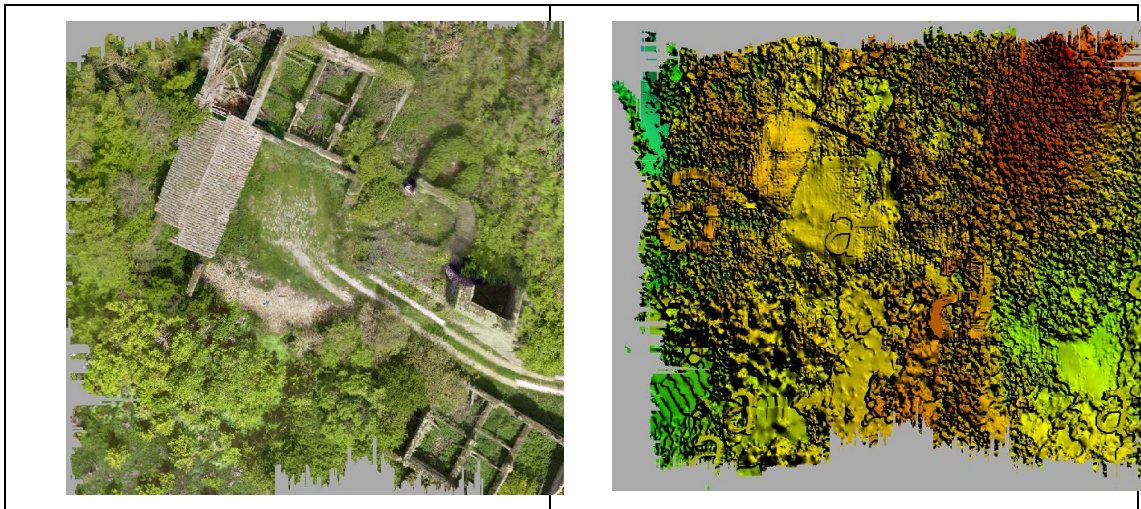


Figura 31: Ortofoto y MDE para prueba ME_1 con PhotoScan

La segunda prueba ME_2, solo ha sido posible la correlación en PhotoScan, Pix4D no ha conseguido crear la nube densa y Correlator no trabaja con imágenes no georreferenciadas.

Respecto de la primera prueba, se ha observado que el producto de ortofoto creado (Figura 32) ha sido de mayor calidad, generando menos huecos blancos en su interior.

El MDE creado no tiene huecos blancos, pero se observa una interpolación muy alta en aquellos lugares donde no hay datos, por lo que no se ha considerado un producto correcto.

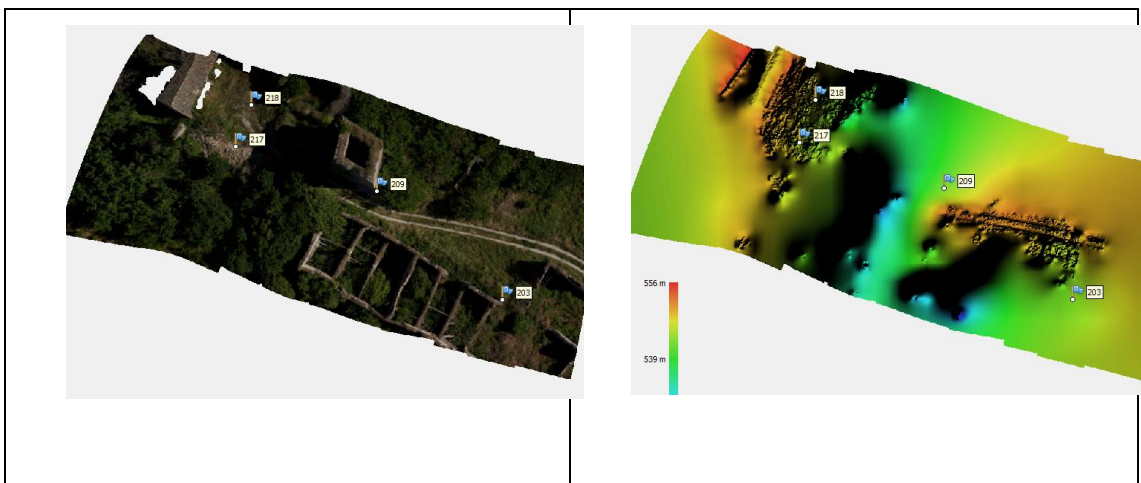


Figura 32: Ortofoto y MDE para prueba ME_2 con PhotoScan

4.7 RESULTADOS OBJETIVO 7

En Pix4D, no ha sido posible introducir en las dos primeras pruebas los ficheros de orientación omega phi y kappa, ya que solo permite cargarlo de manera automática mediante el fichero de vuelo, el cual no se dispone en el proyecto.

Por tanto, la prueba MA_K_FI_1 y MA_K_FI_2, equivalen a la MA_K_FI_3 y MA_K_FI_4.

4.7.1 NUBE DE PUNTOS

4.7.1.1 ANALISIS PRODUCTO RESULTANTE

Correlator3D en su proceso automático no genera nubes de puntos densa.

Por un lado, se ha anotado el número de puntos creados por las herramientas en cada prueba (Tabla 38).

Tabla 38: Número de puntos de Nubes Objetivo 7

COMPARACION		
		Número de Puntos
OBJETIVO 7	MA_K_FI_1_Photo	17429998
	MA_K_FI_2_Photo	17411097
	MA_K_FI_3_Photo	17421997
	MA_K_FI_4_Photo	17402094
	MA_K_FI_5_Photo	17409591
OBJETIVO 8	MA_K_FI_3_Pix	13336773
	MA_K_FI_4_Pix	13308841
	MA_K_FI_5_Pix	8034801

PhotoScan ha generado la nube con mayor número de puntos en la prueba MA_K_FI_1. Se observa que la herramienta genera un número de puntos similar en las diferentes pruebas. Pix4D genera una nube de puntos similar en los dos primeros casos, pero en el modelo relativo ha disminuido su número de puntos.

Se observa que cuando el número de puntos generados por PhotoScan es superior al generado por Pix4D en todos los análisis Figura 33.

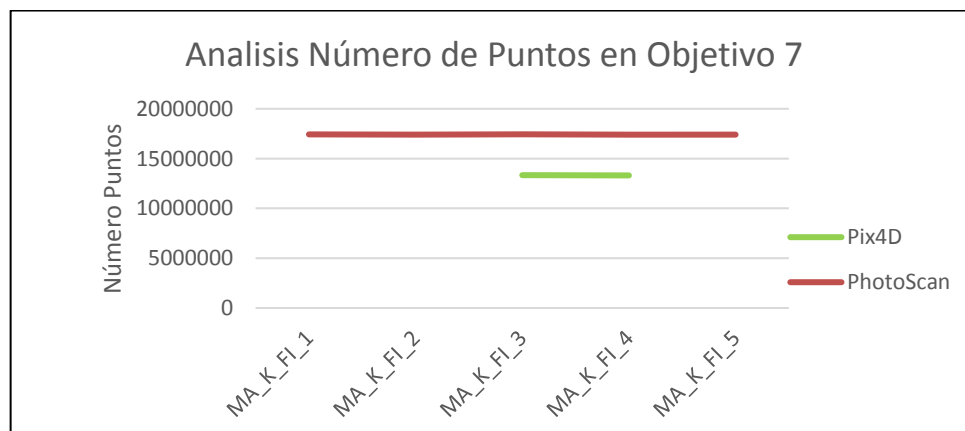


Figura 33: Número de puntos de la nube en Objetivo 3

Se observa que el número de puntos generado en las nubes es similar, por lo tanto, la modificación de datos de GPS e IMU no afecta a la generación de nubes de puntos en las nubes.

En el caso de Pix4D si se ha observado que en la prueba MA_K_FI_5 sí que se ha observado una disminución de puntos con la eliminación de datos de GPS-IMU. Por tanto, para la herramienta Pix4D sí que es un dato importante la disposición de estos datos.

Por otro lado, se ha estudiado la distribución de la nube midiendo el número de celdas por Octree hasta el noveno nivel visible en la Tabla 39.

Tabla 39: Número de celdas por nivel de Octree en Objetivo 7

Número de celdas por Nivel de Octree Objetivo 7								
Octree Level	PhotoScan					Pix4D		
	MA_K_FI_1	MA_K_FI_2	MA_K_FI_3	MA_K_FI_4	MA_K_FI_5	MA_K_FI_3	MA_K_FI_4	MA_K_FI_5
1	8	8	8	8	8	8	8	8
2	31	30	31	32	8	29	31	21
3	100	99	95	102	8	93	96	64
4	337	330	311	340	8	279	297	195
5	1237	1199	1317	1260	27	1294	1281	906
6	5271	5140	5221	5307	73	5204	5171	3671
7	20893	20442	20963	21196	231	20892	20781	14670
8	54146	55257	55867	56418	978	54245	54308	57114
9	134607	140923	142,756	143947	4149	140365	139653	221879
10	259384	257831	259009	260383	16629	245805	245015	838135

Se ha observado que en PhotoScan a excepción de la prueba MA_K_FI_5 genera un número de celdas similar en el décimo nivel. En esta última prueba sí que se ha observado que al generar un modelo relativo el número de celdas generadas es $\frac{1}{4}$ menos que en el resto.

El caso contrario ocurre en Pix4D, la nube relativa de la prueba MA_K_FI_5 genera 50000 celdas aproximadamente más que en las dos primeras.

Para un mismo análisis común PhotoScan ha generado nubes más uniformes que Pix4D en todos los casos de estudio a excepción del modelo relativo en el cual Pix4D en ausencia de datos GPS-IMU genera una nube más uniforme que PhotoScan.

Respecto al objetivo específico, la introducción de ficheros de localizaciones y orientaciones alternados no varía la uniformidad de las nubes de puntos creadas por las herramientas a excepción de los modelos relativos.

4.7.1.2 COMPARACIÓN CON REALIDAD TERRENO

Para la comparación de las nubes de puntos, debido a que no se ha dispuesto de una realidad terreno, se han utilizado para cada herramienta la nube de mayor densidad como referencia. En ambas herramientas ha sido la generada en la primera prueba MA_K_FI_1.

Esta comparación se hace mediante un test de Chi2. Los resultados obtenidos son en referencia a estas nubes.

Como resultado ha dado la desviación estándar y distancia media de la nube de referencia a la nube objeto de estudio expuestos en la Tabla 40.

Tabla 40: Estadísticas Nubes Objetivo 7

COMPARACION			
		Distancia media	Desviación Estándar
OBJETIVO 7	MA_K_FI_1_Ph		
	MA_K_FI_2_Ph	0,634	0,771
	MA_K_FI_3_Ph	0,004	0,097
	MA_K_FI_4_Ph	0,111	0,172
	MA_K_FI_5_Ph		
OBJETIVO 8	MA_K_FI_3_Ph		Referencia
	MA_K_FI_4_Ph	0,102	0,162
	MA_K_FI_5_Ph	no se realiza	

Los modelos relativos obtenidos no se analizan ya que no están referenciados.

PhotoScan tiene la mayor desviación estándar para el caso de estudio MA_K_FI_2 en la cual se introduce ruido en los datos GPS. Por el contrario, el menor error lo tiene en el caso MA_K_FI_2 en donde se prescinde de los datos IMU. Se observa que la afección por omisión de datos GPS a los errores es mayor que la omisión de datos IMU.

En Pix4D la introducción de ruido en el archivo GPS genera una desviación estándar de 0.162.

No es comparable puesto que no se ha utilizado la misma nube de referencia, pero para la ausencia de datos GPS, Pix4D ha generado una menor desviación que PhotoScan.

Respecto a la distancia media, el comportamiento ha sido el mismo que en las desviaciones estándar.

Respecto al objetivo específico, la variación de parámetros si afecta a la calidad de nubes de puntos, siendo de mayor importancia los datos de localizaciones GPS que los datos de orientaciones IMU.

4.7.2 MDE

Debido a la inexistencia de puntos de control en este caso de estudio, para la comparación de la calidad de ortofotos, se han seleccionado 3 puntos en la ortofoto generada en el estudio MA_K_FI_1. Esta ha sido la prueba que ha generado un mayor número de puntos en la nube densa por tanto se toma como referencia para comparar el resto. La comparación de resultados es en relación a los productos generados en esta prueba.

Respecto a los MDE se han medido los valores correspondientes a las localizaciones de los puntos de control y se ha calculado el RSME respecto a la coordenada Z de estos (Tabla 41).

Tabla 41: RMSE altimétrico en GSD para Objetivo 7

RMSE (GSD)		PUNTOS Z
Pix4D	MA_K_FI_2	8,649
PhotoScan	MA_K_FI_2	7,871
	MA_K_FI_3	7,231
	MA_K_FI_4	2,998
	PhotoScan_General	4,876

En este caso, la prueba MA_K_FI_4 con PhotoScan ha generado el menor RMSE con 3 GSD.

De Pix4D no se ha podido analizar los resultados y respecto a MA_K_FI_1 tomada como realidad, se ha observado que la introducción de ruido en los datos GPS genera un mayor error.

Se observa tanto en Pix4D como en PhotoScan que la modificación de archivos GPS e IMU afecta en la generación del MDE, siendo el GPS más importante que el IMU.

4.7.3 ORTOFOTOS

4.7.3.1 CALIDAD IMAGEN

No se ha realizado calidad de la imagen debido a que la maquina no ha soportado las ortofotos generadas y ha dado un error de memoria.

4.7.3.2 CALIDAD GEORREFERENCIA

El análisis de errores de los puntos de control respecto a la realidad tomada de la prueba MA_K_FI_1 ha sido el visible en la Tabla 42.

Tabla 42: RMSE planimétrico en GSD para Objetivo 7

RMSE (GSD)		PUNTOS X, Y	LÍNEAS	POLIGONOS
Pix4D	MA_K_FI_2	25,222	495,551	54,687
PhotoScan	MA_K_FI_2	268,032	17,610	10,938
	MA_K_FI_3	10,421	10,358	418,750
	MA_K_FI_4	39,860	19,957	109,375
	PhotoScan_General	156,566	16,489	249,956

La utilización de ruido en los datos GPS en la prueba MA_K_FI_2, en el caso de PhotoScan, genera un mayor error tanto en puntos como en líneas.

Por otro lado, la omisión de los datos IMU en la prueba MA_K_FI_3, genera un menor error.

En Pix4D no se ha podido analizar nada porque solo ha habido una nube para comparar, debido a que la herramienta no deja introducir solamente datos IMU.

La dispersión geométrica de medidas respecto a los puntos de control se puede observar en la Figura 34.

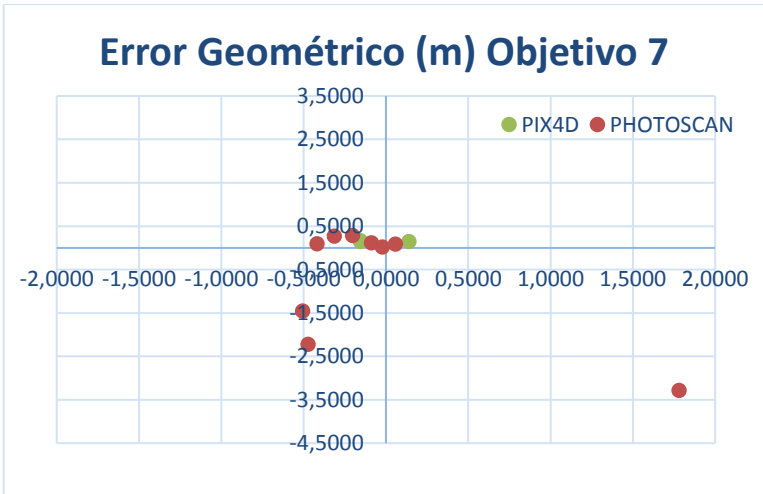


Figura 34: Análisis geométrico Objetivo 7

4.8 RESULTADOS OBJETIVO 8

El objetivo de estas pruebas, ha sido analizar el coste computacional en minutos de cada uno de los productos generados en el proceso a medida que se aumenta el volumen de imágenes.

Correlator3D no ha sido capaz de procesar ninguna de las pruebas, ha dado error de memoria.

4.8.1.1 ALINEACIÓN INICIAL

Para el análisis del coste computacional de la alineación se ha utilizado la Figura 35.

En primer lugar, se ha observado que en PhotoScan existe una relación más o menos constante en el coste computacional de alineación, se observa que el incremento de imágenes lleva consigo un incremento del tiempo de proceso.

En el caso de generación de alineación con imágenes relativas (400_Relativo), el proceso se ha incrementado respecto al cálculo de 400 sin relativo, por lo que se entiende que el cálculo de este tipo de imágenes relativa incrementa el tiempo de alineación de las imágenes.

Para el caso de Pix4D, el software al igual que en PhotoScan, el incremento de tiempo de coste está ligado al incremento del número de imágenes.

En el caso de imágenes relativas, la herramienta tarda lo mismo en procesar las mismas imágenes en relativo o referenciadas.

Se ha analizado que la parte de proceso de alineado de imágenes, Pix4D es más rápido que PhotoScan.

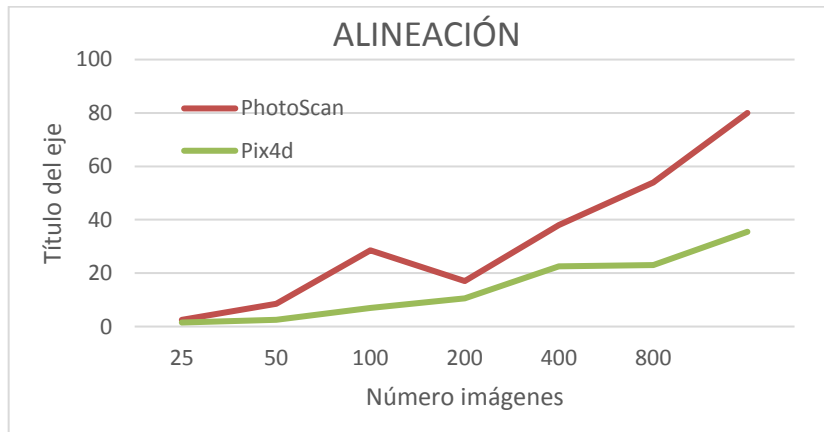


Figura 35: Coste computacional alineación Objetivo 8

4.8.1.2 DENSIFICACIÓN DE NUBE DE PUNTOS

En relación al coste computacional en la densificación de nubes de puntos, se han podido extraer los resultados observados en la Figura 36.

PhotoScan sigue una tendencia de crecimiento en relación tiempo-imágenes, conforme aumenta el número de imágenes aumenta el tiempo de proceso, pero se ha observado que la pendiente de la línea en el gráfico de la Figura 36 ha ido aumentando conforme incrementa el número de fotos. En la producción de nubes a partir de imágenes relativas, los tiempos de proceso son menores.

En el caso de Pix4D se han extraído los mismos resultados que para PhotoScan.

Ambas herramientas han empleado tiempos similares en la producción de las nubes, se analiza una leve tendencia a que con un mayor número de imágenes Pix4D tarda más tiempo.

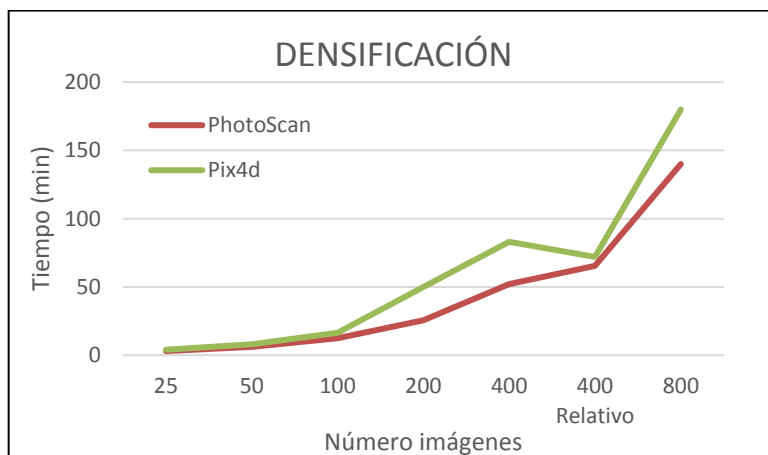


Figura 36: Coste computacional densificación Objetivo 8

4.8.1.3 GENERACIÓN DE MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES

En la generación de los modelos digitales de elevaciones MDE, se ha observado que PhotoScan los genera de manera relativamente rápida (Figura 41). No afecta el número de imágenes para el tiempo que ha tardado en generar los modelos.

Si se analiza el tiempo que tarda la herramienta Pix4D se ha observado en el caso de las 800 imágenes que ha tardado más que en el resto de pruebas, pero para la prueba con 100 y 400 imágenes el tiempo de proceso ha sido similar.

Pix4D no ha sido capaz de generar un MDE con las imágenes relativas.

En comparación de las dos herramientas, PhotoScan genera MDE en un tiempo considerablemente menor.

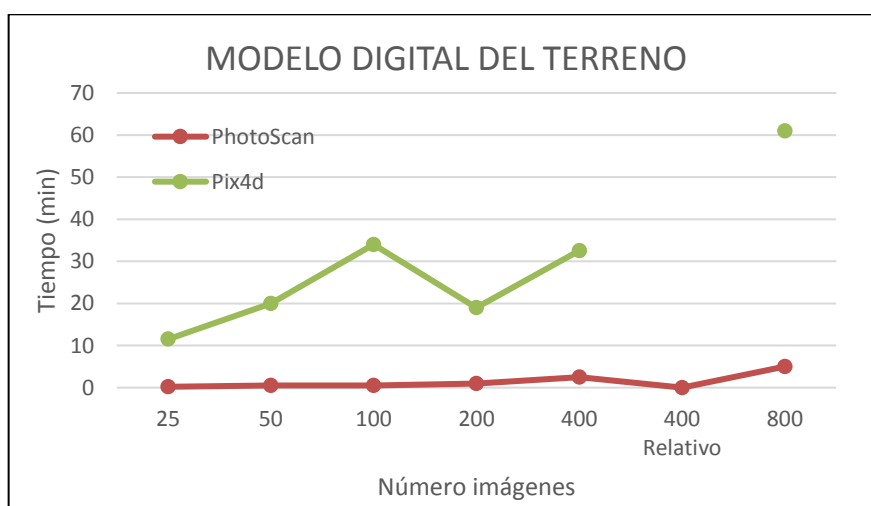


Figura 37: Coste computacional producción MDE Objetivo 8

4.8.1.4 GENERACIÓN DE ORTOFOTOS

En la generación de ortofotos, se ha observado mediante el análisis de los datos en la Figura 38, que PhotoScan tiene un coste similar, incrementándose ligeramente conforme aumenta el número de imágenes.

Pix4D, sí que ha mostrado una tendencia constante a incrementar el tiempo de proceso conforme aumenta el número de imágenes.

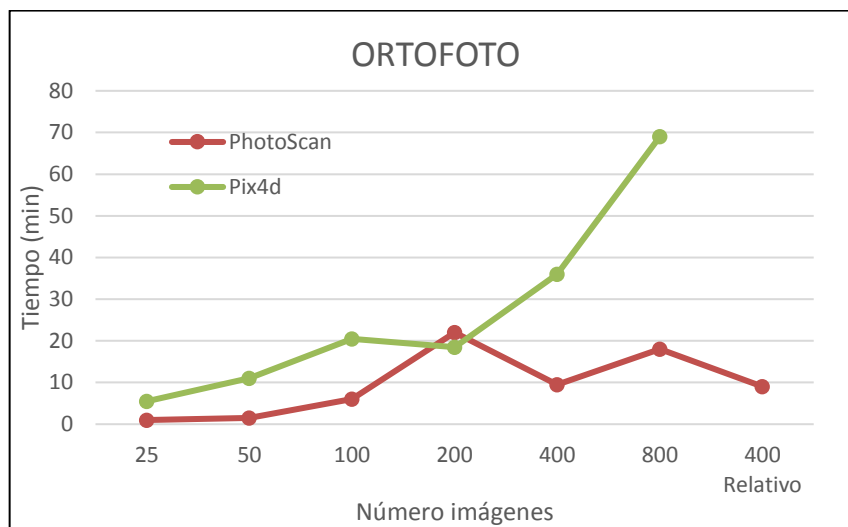


Figura 38: Coste computacional creación de ortofotos Objetivo 8

4.8.1.5 COSTES TOTALES

Si se analiza el coste general del cálculo total de la Figura 39 se observa que, con el aumento del número de imágenes a procesar, el tiempo de proceso lo hace de manera progresiva. Este hecho se ha dado en ambas herramientas.

En el caso de la utilización de imágenes relativas, el coste computacional ha disminuido.

El caso de Pix4D se ha observado que ha tardado más tiempo en procesar todas las pruebas.

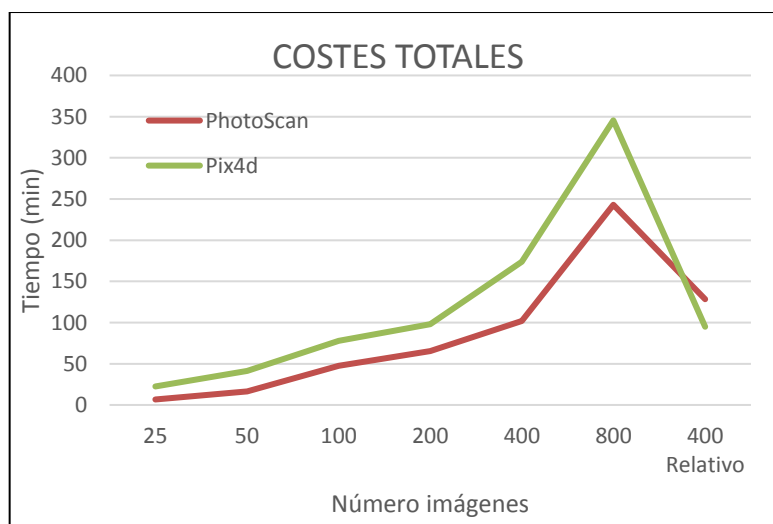


Figura 39: Análisis de tiempo total de coste computacional

4.9 RESULTADOS OBJETIVO 9

4.9.1.1 ANALISIS ALINEACIÓN INICIAL

Se han procesado imágenes históricas escaneadas a partir de negativos. Tras las pruebas realizadas, se ha observado como dos de las herramientas, Pix4D como PhotoScan son capaces de procesar este tipo de imágenes.

Correlator3D no se ha podido analizar debido a que la herramienta no acepta imágenes no georreferenciadas.

En el caso de Bardenas, Pix4D ha generado una alineación inicial de las imágenes, pero con errores elevados a simple vista en la correlación (Figura 40). Por tanto, no ha sido capaz de generar la ortofoto ni el modelo digital de elevaciones.

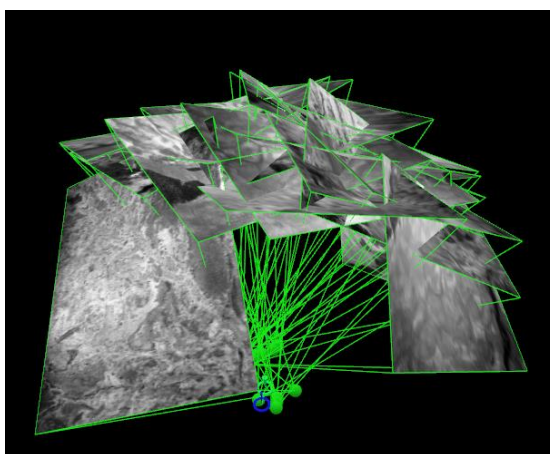


Figura 40: Alineación Pix4D en fotos históricas de las Bardenas

En el caso de PhotoScan la herramienta ha alineado correctamente las imágenes.

4.9.1.2 ANALISIS ORTOFOTO Y MDE

En el vuelo de Bardenas, al tratarse de fotogramas históricos tomados por un vuelo no fotogramétrico, el solape no ha sido el adecuado por lo que se han observado huecos blancos tanto en la ortofoto como en el MDT (Figura 41).

Pix4D no ha sido capaz de generar estos productos.

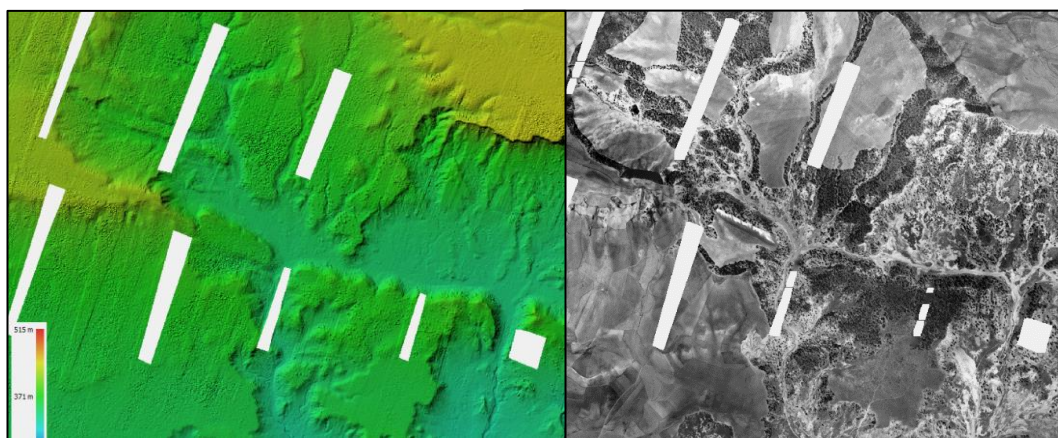


Figura 41: Errores de solape en la generación de productos mediante PhotoScan en Bardenas.

En el caso de La Rioja, ambas herramientas han procesado correctamente los datos, en este caso se trata de un vuelo histórico fotogramétrico por lo que el solape es adecuado y los productos obtenidos se han considerado correctos.

La prueba Polígono16, no se ha podido generar por falta de tiempo.

4.10 RESULTADOS OBJETIVO 10

En este caso la meta del objetivo ha sido comprobar si las herramientas estudiadas son capaces de correlar imágenes de la cámara RCD30.

Cargadas las imágenes en las herramientas se ha visto que tanto Pix4D como PhotoScan han sido capaces de procesarlas correctamente generando los productos objeto de estudio.

En el caso de Correlator3D, no se han podido procesar las imágenes debido a la ausencia de geolocalizaciones de estas.

Se ha observado debido a la ausencia de un número suficiente de fotografías con zonas comunes, el software solo correla 3 imágenes de una misma dirección.

En el caso de la Prueba RCD30_1 en la cual se pretendía tratar todas las imágenes, PhotoScan ha correlado únicamente las imágenes nadirales mientras que Pix4D ha correlado las tomadas hacia la derecha.

4.10.1 NUBE DE PUNTOS

4.10.1.1 ANALISIS PRODUCTO RESULTANTE

Correlator3D en su proceso automático no genera nubes de puntos densa.

Por un lado, se ha anotado el número de puntos creados por las herramientas en cada prueba (Tabla 43).

Tabla 43: Número de puntos de Nubes Objetivo 10

COMPARACION		
		Número de Puntos
OBJETIVO 9	RCD30_1	5368745
OBJETIVO 9	RCD30_2	4426943
OBJETIVO 9	RCD30_1	1283766
OBJETIVO 9	RCD30_2	1966006

Se observa que PhotoScan crea un mayor número de puntos en la nube para los bloques generados con imágenes nadirales de la prueba RCD30_1.

En el caso de Pix4D ocurre similar, la prueba RCD30_2 que procesa imágenes nadirales, genera un mayor número de puntos que la de imágenes oblicuas.

Tabla 44: Número de celdas por nivel de Octree en Objetivo 10

Número de celdas por Nivel de Octree Objetivo 10				
Octree Level	PhotoScan		Pix4D	
	RCD30_1	RCD30_2	RCD30_1	RCD30_2
1	8	8	6	6
2	28	24	10	10
3	95	64	24	52
4	356	214	124	200
5	1758	873	459	765
6	7492	3412	1929	3242
7	29038	13442	7714	13461

8	115054	52608	30362	53383
9	426999	201783	114847	197085
10	1442585	740403	393801	641360

En referencia al número de celdas en el décimo nivel del Octree se observa que al igual que ha ocurrido con el número de puntos en las nubes, las pruebas correspondientes a imágenes nadirales generan el doble de puntos que las oblicuas.

Para un conjunto de imágenes común, PhotoScan genera nubes más uniformes debido al mayor número de celdas en el último nivel del Octree.

4.10.1.2 COMPARACIÓN CON REALIDAD TERRENO

No ha sido posible la comparación de las nubes de puntos con realidad terreno debido que no se dispone de este dato, tampoco ha sido posible la comparación de las nubes respecto a otra relativa porque no ha existido una misma zona de análisis, las imágenes oblicuas y las nadirales no han tenido zonas de captura comunes.

4.10.2 MDE

No ha sido posible el análisis debido a la ausencia de una realidad terreno con la que realizar la comparativa.

4.10.3 ORTOFOTOS

4.10.3.1 CALIDAD IMAGEN

No se ha realizado calidad de la imagen debido a que la maquina no ha soportado las ortofotos generadas y ha dado un error de memoria.

4.10.3.2 CALIDAD GEORREFERENCIA

Se ha observado que tanto la herramienta Pix4D como PhotoScan son capaces de generar estos dos productos. No ha sido posible su análisis debido a la ausencia de puntos de control.

Por tanto, se ha comprobado que las dos primeras herramientas si son capaces de correlar imágenes superiores a 40 MP, pero no se ha podido comprobar si son capaces de correlar imágenes oblicuas debido a que no existía zona común entre las imágenes oblicuas con las que se ha trabajado.

4.11 RESULTADOS OBJETIVO 11

Respecto al tratamiento de imágenes de barrido como el caso de la ADS80, inicialmente solo se ha planteado comprobar si las herramientas de estudio son capaces de tratar con este tipo de productos.

En el caso de Pix4D y PhotoScan no ha sido posible tratar con ello, las herramientas no soportan este tipo de formatos de imagen.

En el caso de Correlator 3D sí que soporta el tratamiento de este tipo de imágenes, ya que la herramienta tiene un módulo específico para la cámara ADS80.

En el encuentro webex que se ha tenido con la casa SimActive, el comercial ha hecho una demostración de productos que se pueden obtener. Para ello ha utilizado una imagen cedida por la Tracasa Instrumental.

Entre los productos visualizados, se han observado modelos digitales del terreno, modelos de superficies del terreno y ortofotos.

Debido a la falta de tiempo y a que no ha sido una meta principal del proyecto no se ha podido repetir el cálculo de esta prueba en el proyecto.

4.12 RESULTADOS OBJETIVO 12

En este objetivo se ha pretendido analizar la respuesta de las diferentes herramientas al tratamiento de imágenes terrestres.

Pix4D y PhotoScan sí que son capaces de correlar las imágenes y generar los productos.

Pix4D no es capaz de enlazar bien las imágenes y los resultados no han sido los esperados inicialmente, PhotoScan genera productos más elaborados (Figura 42).

Correlator 3D no se ha podido analizar debido a que la herramienta no acepta imágenes no georreferenciadas.

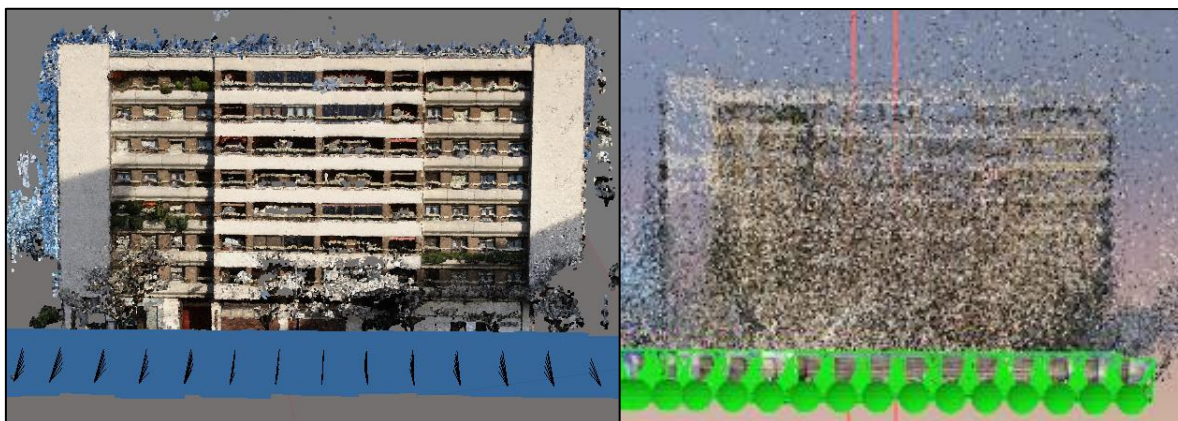


Figura 42: Nubes de puntos densificada de fotogrametría terrestre. Izquierda PhotoScan, derecha Pix4D

5 CONCLUSIONES

En base al estudio que se ha realizado de las herramientas a lo largo del proyecto y respecto a los objetivos inicialmente planteados, a continuación, se describen una serie de conclusiones finales.

5.1 ASIGNACIÓN DE IMPORTANCIA POR PRODUCTO Y OBJETIVO

A continuación, se muestra la asignación de pesos para conseguir el objetivo planteado en el estudio.

Por un lado, se introduce el peso específico que se le ha dado a cada uno de los análisis realizados en el estudio como se muestra en la Tabla 45.

Tabla 45: Asignación de pesos de productos.

Medida	Peso Asignado
Calidad de la Nube de Puntos	0,1
Precisión Nube de puntos con el Terreno	0,25
Precisión MDE con el Terreno	0,3
Calidad de la Ortofoto	0,1
Precisión Ortofoto con el Terreno	0,25

En segundo lugar, se asigna un peso por objetivo específico para calcular la elección de la herramienta más adecuada Tabla 46.

Tabla 46: Asignación de pesos por Objetivo

	Peso Asignado	
OBJETIVO 1	13	0,13
OBJETIVO 2	8	0,08
OBJETIVO 3	8	0,08
OBJETIVO 4	13	0,13
OBJETIVO 5	13	0,13
OBJETIVO 6	8	0,08
OBJETIVO 7	10	0,1
OBJETIVO 8	3	0,03
OBJETIVO 9	10	0,1
OBJETIVO 10	3	0,03
OBJETIVO 11	8	0,08
OBJETIVO 12	3	0,03
SUMA	100	1

5.2 ANALISIS POR OBJETIVO ESPECÍFICO

En base a la asignación de pesos anteriormente calculada se muestra el resultado obtenido para cada objetivo Específico.

Tabla 47: Resultados por objetivo Específico

	Calidad de la Nube de Puntos	Precisión Nube de puntos con el Terreno	Precisión MDE con el Terreno	Calidad de la Ortofoto	Precisión Ortofoto con el Terreno	SUMA DE PESOS		RESULTADO FINAL	
Peso Asignado	0,1	0,25	0,3	0,1	0,25	Pix4D	PhotoScan	Correlator3D	
OBJETIVO 1	0,1	0,25	0,3	0,1	0,25	0,75	0,5	0	Pix4D
OBJETIVO 2	0,1	0,25	0,3	0,1	0,25	0,125	0,875	0	PhotoScan
OBJETIVO 3	0,1	0,25	0,3	0,1	0,25	0,1	0,6	0,3	PhotoScan
OBJETIVO 4	0,1	0,25	0,3	0,1	0,25	0,8	0,2	0	Pix4D
OBJETIVO 5	0,1	0,25	0,3	0,1	0,25	0,45	0,55	0	Pix4D
OBJETIVO 6	0,1	0,25	0,3	0,1	0,25	0	0,35	0,65	Correlator3D
OBJETIVO 7	0,1	0,25	0,3	0,1	0,25	0	0,1	0	PhotoScan
OBJETIVO 8	Alineación	Nube	MDE	ORTO	TOTAL	0	TIEMPO	0	PhotoScan
OBJETIVO 9	0,1	0,25	0,3	0,1	0,25			0	Pix4D/PhotoScan
OBJETIVO 10	0,1	0,25	0,3	0,1	0,25		0,1	0	PhotoScan
OBJETIVO 11	0,1	0,25	0,3	0,1	0,25		0	1	Correlator3D
OBJETIVO 12	0,1	0,25	0,3	0,1	0,25		0,1	0	PhotoScan

A continuación, se hace un resumen de las conclusiones por objetivos específicos.

- Respecto al Objetivo 1, se ha observado que las dos herramientas mejoran los productos cuando aumenta el número de imágenes y en consecuencia el recubrimiento de la zona, teniendo un solapamiento entre imágenes mayores. La herramienta seleccionada tras el análisis ha sido Pix4D
- Para el trabajo con vuelos a diferente altura estudiado en el Objetivo 2, se ha observado que tanto Pix4D como PhotoScan generan los productos de estudio, por tanto, son capaces de trabajar con vuelos a diferentes alturas. La herramienta seleccionada ha sido PhotoScan.
- Para el tratamiento de imágenes con diferente focal, las conclusiones extraídas del Objetivo 3 han sido que PhotoScan es capaz de generar los productos de estudio por tanto ha sido la seleccionada. Correlator3D ha procesado las imágenes y ha obtenido buenos resultados.
- El estudio del comportamiento de los modelos con la variación de puntos de control ha mostrado que su incremento no mejora los resultados de los productos obtenidos en el Objetivo 4. La herramienta que mejores resultados ha obtenido y por tanto seleccionado ha sido Pix4D.
- Cuando se ha trabajado con imágenes borrosas en el Objetivo 5, al contrario de lo ocurrido en el Objetivo 4, el aumento de puntos de control si mejora los resultados. La herramienta seleccionada ha sido Pix4D.
- El tratamiento de imágenes en zonas muy homogéneas con una textura constante crea problemas en la herramienta Pix4D. En el Objetivo 6, se ha observado que PhotoScan y Correlator3D generan productos en este tipo de zonas siendo este último más preciso y seleccionado por ello.

- La modificación de parámetros de orientaciones y GPS estudiada en el Objetivo 7 ha llevado a concluir que, en la producción de resultados, afecta en mayor medida los datos GPS que los datos IMU. Variaciones en los datos GPS han generado errores superiores que los obtenidos en la variación de datos IMU. Para este caso la herramienta seleccionada ha sido PhotoScan.
- Respecto al análisis de coste computacional de procesamiento de las herramientas, se ha analizado en el Objetivo 8 que Pix4D es más rápido en la alineación de las imágenes, al contrario, en la generación de MDE, Ortofotos y Nubes PhotoScan es más rápido. Analizando el coste computacional total, PhotoScan ha sido más rápida y por tanto ha sido la seleccionada.
- En el Objetivo 9, las herramientas Pix4D y PhotoScan se han podido utilizar para la generación de productos a partir de fotogramas escaneados concretamente ortofotos histórica. Se ha observado que la calidad de los datos producidos no es la misma con ambas herramientas, funcionando mejor Pix4D que PhotoScan cuando el vuelo es fotogramétrico. Si el vuelo no es fotogramétrico, Pix4D no se puede asegurar que sea capaz de generar productos. Por tanto, no existe una clara tendencia en la selección de la herramienta.
- En base al Objetivo 10 se ha podido concluir que ambas herramientas son capaces de trabajar con imágenes superiores a 40MP. No se ha podido probar la capacidad de correlación de imágenes oblicuas debido a la inexistencia de zonas comunes en las imágenes de partida. Los resultados obtenidos han sido mejores para PhotoScan por lo que se ha seleccionado esta herramienta.
- Respecto al funcionamiento de las herramientas con imágenes de barrido probado en el Objetivo 11, se ha concluido que solamente Correlator3D es capaz de tratar este tipo de imágenes en un módulo especial diseñado para ello en la herramienta.
- En el objetivo 12 se ha probado la capacidad de las herramientas para tratar el modelo de toma de datos “mobile mapping”, de partido se ha descartado Correlator3D ya que es una herramienta puramente fotogramétrica. Por otro lado, tanto Pix4D como PhotoScan son herramientas capaces de procesar datos provenientes de fotografía terrestre y a partir de estas imágenes generar los productos estudiados en el proyecto. Los resultados proporcionados por PhotoScan han sido más precisos por lo que se selecciona esta herramienta para este tipo de trabajos.

5.3 ANALISIS GENERAL

En base a los pesos asignados por objetivo específico, se ha calculado la elección final de la herramienta observada en la Tabla 48.

Tabla 48: Reultados Finales Elección Herramienta

	Peso Asignado		Selección Final	
OBJETIVO 1	13	0,13	Pix4D	0,44
OBJETIVO 2	8	0,08	PhotoScan	
OBJETIVO 3	8	0,08	PhotoScan	
OBJETIVO 4	13	0,13	Pix4D	
OBJETIVO 5	13	0,13	Pix4D	0,4
OBJETIVO 6	8	0,08	Correlator3D	
OBJETIVO 7	10	0,1	PhotoScan	
OBJETIVO 8	3	0,03	PhotoScan	
OBJETIVO 9	10	0,1		
OBJETIVO 10	3	0,03	PhotoScan	0,16
OBJETIVO 11	8	0,08	Correlator3D	
OBJETIVO 12	3	0,03	PhotoScan	
SUMA	100	1		1

Se concluye por tanto que la herramienta más adecuada ha sido PhotoScan seguida de Pix4D.

A continuación, se describen una serie de conclusiones generales de las herramientas:

- Correlator3D es una herramienta con un enfoque fotogramétrico tradicional que permite una amplia edición manual de resultados. Solamente se ha analizado su proceso automático debido a su similitud con los procesos automáticos de Pix4D y PhotoScan. Los resultados obtenidos en todos los objetivos han sido los peores. Muchas de las pruebas no se han podido realizar debido a que la maquina no ha sido capaz de procesar los datos. Esta herramienta no permite generar modelos relativos a partir de imágenes no georreferenciadas. Es la única herramienta capaz de tratar con ADS80. Otro factor en contra de Correlator3D ha sido la ausencia de nubes densas de puntos en su proceso automático.
- Respecto a la herramienta Pix4D se ha observado que es una herramienta que obtiene muy buenos resultados cuando los datos de entrada son correctos (Objetivo 1), es decir cuando existe un alto solape entre imágenes y se dispone de ficheros de GPS-IMU.
- En zonas con terreno muy homogéneo como zonas agrarias o con mucha vegetación (Objetivo 3, y 5), se ha visto que la herramienta no es capaz de correlar bien las imágenes y bien o genera resultados erróneos o no es capaz de procesar los datos.
- La radiometría de la imagen de salida en las ortofotos, se ha observado que es algo mejor en Pix4D que en PhotoScan, permitiéndote este la edición de esta.
- Pix4D permite la selección de imágenes a la hora de visualizar el mosaico final, esta herramienta es de gran ayuda para producir un modelo más visual, pero requiere de trabajo extra tras el pos proceso. Además, esta herramienta permite cálculos de índices en agricultura de precisión que pueden ser interesantes en otros ámbitos de estudio.

- PhotoScan ha sido la herramienta más robusta, ya que ha sido capaz de procesar todas las pruebas dentro de los objetivos. La única prueba que no ha sido capaz de procesar ha sido la relacionada con la cámara de barrido ADS80.
- PhotoScan genera nubes de puntos más densas que Pix4D para la misma condición, pero en su comparación con la realidad terreno se ha observado que las desviaciones y distancias medias calculadas son mayores que en Pix4D.
- Se ha observado que tanto en Pix4D como en PhotoScan, cuanto mayor es el solape de imágenes, mejores resultados se obtienen. En ambas la introducción de puntos de apoyo mejor la uniformidad de las nubes de puntos (Objetivo 4, 5).
- PhotoScan permite un proceso de producción automática en batería muy cómodo, mientras que Pix4D requiere del lanzamiento de códigos con Python.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Bhandari, B., Oli, U., Pudasaini, U., & Panta, N. (2015). Generation of High Resolution DSM Using UAV Images Generation of High Resolution DSM Using UAV Images, (May 2015), 17–21.
- Gross, J. W. (n.d.). A Comparison of Orthomosaic Software for Use with Ultra High Resolution Imagery of a Wetland Environment.
- Jaud, M., Passot, S., Bivic, R. Le, Delacourt, C., Grandjean, P., & Dantec, N. Le. (n.d.). Assessing the Accuracy of High Resolution Digital Surface Models Computed by PhotoScan[®] and MicMac[®] in Sub-Optimal Survey Conditions. <http://doi.org/10.3390/rs8060465>
- Lingua, A., Marenchino, D., & Nex, F. (2009). Performance Analysis of the SIFT Operator for Automatic Feature Extraction and Matching in Photogrammetric Applications, 3745–3766. <http://doi.org/10.3390/s90503745>
- Lowe, D. G. (n.d.). Object Recognition from Local Scale-Invariant Features.
- Moutinho, Ó., Rodrigues, A., Gonçalves, J. A., Sousa, J. J., & Bento, R. (n.d.). Estudo comparativo de software fotogramétrico em diferentes ambientes com RPAS : Comercial vs . Open Source, *d*, 1–8.
- Ostrowski, S., Józków, G., Toth, C., & Jagt, B. Vander. (2014). Analysis of Point Cloud Generation from UAS Images, *II*(November), 17–20. <http://doi.org/10.5194/isprsannals-II-1-45-2014>
- Vallet, J., Panissod, F., Strecha, C., & Tracol, M. (2011). PHOTOGRAMMETRIC PERFORMANCE OF AN ULTRA LIGHT WEIGHT SWINGLET.

7 REFERENCIAS

- CLOUD COMPARE. Comparación de distancias entre Nubes de Puntos. [en línea]. [Fecha de consulta: 7 Septiembre 2016]. Disponible en: http://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=Cloud-to-Cloud_Distance
- CLOUD COMPARE. Análisis estadístico Chi2 test. [en línea]. [Fecha de consulta: 7 Septiembre 2016]. Disponible en: http://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=Local_Statistical_Test#About_the_Chi2_test
- Girardeau-Montaut, D., 2014. CloudCompare - Open Source Project. [en línea]. [Fecha de consulta: 11 Septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.danielgm.net/cc/> (accessed 28 Agosto 2016).
- DRONNING. Trabajo comparativo de productos UAV, 2015. [en línea]. [Fecha de consulta: 03 Julio 2016]. Disponible en: <http://www.droning.es/2015/09/29/topografia-y-fotogrametria-con-dron-ala-fija-precisiones-y-proceso/>
- PHOTOSCAN. Foro con numeras cuestiones resultas sobre la herramienta. [en línea]. [Fecha de consulta: constante]. Disponible en: <http://www.agisoft.com/forum/index.php>
- Pix4D. Foro con numeras cuestiones resultas sobre la herramienta. [en línea]. [Fecha de consulta: constante]. Disponible en: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/community/topics#gsc.tab=0>
- Wikipedia. Comparison of photogrammetry software. [en línea]. [Fecha de consulta: 21 Junio 2016]. Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_photogrammetry_software

8 ANEXOS

- ANEXO 1: Detalles con descripción de materiales utilizados
- ANEXO 2: Objetivos planteados para el proyecto con sus pruebas
- ANEXO 3: Parámetros de proyecto
- ANEXO 4: Resultado análisis Nubes de Puntos
- ANEXO 5: Resultado análisis QGis
- ANEXO 6: Resultado análisis Python
- ANEXO 7: Resultado Costes Proceso
- ANEXO 8: Calculo Objetivos Finales
- ANEXO 9: Códigos generados en Python
- ANEXO 10: Solicitudes I+D Tracasa
- ANEXO 11: Análisis cualitativo aplicaciones
- ANEXO 12: Cronograma del proyecto
- ANEXO 13: Formatos soportados por las herramientas
- ANEXO 14: Evaluaciones iniciales realizadas
- ANEXO 15: Tutoriales breves procesado herramientas
- ANEXO 16: Tutoriales completo Pix4D
- ANEXO 17: Tutoriales completo Agisoft PhotoScan
- ANEXO 18: Tutoriales completo Correlator3D
- ANEXO 19: Tutoriales completo Cloud-Compare